

# **Магістерська дисертація**

на тему: Дослідження та оптимізація виконавчих елементів систем  
впорскування палива

---

Київ – 2018 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудування

(повна назва інституту/факультету)

Приладобудування

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 621.436.038:006.032.-034

(універсальна десятична класифікація.

Для визначення УДК конкретної дисертації

студенту слід звернутися в 1-й зал бібліотеки)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

М.Д. Гераїмчук

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” грудня 2018 р.

**Магістерська дисертація  
на здобуття ступеня магістр**

зі спеціальності (спеціалізації) 152 Метрологія та інформаційно-вимірю-  
вальна техніка (Інформаційні технології та  
вимірювальні системи механіки)

(код і назва)

на тему: Дослідження та оптимізація виконавчих елементів систем  
впорскування палива

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ПІ-71мп  
(шифр групи)

Сорочинський Ростислав Русланович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доцент к. т. н. Дубінець В. І.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант Розробка СТАРТАП-проекту доцент к.е.н. Бояринова К.О.  
(назва розділу) (посада, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент доцент к. т. н. Шевченко В. В.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2018 року

## ВІДОМІСТЬ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на магістерську дисертацію	2	
2	A4	МД.ПЗ	Пояснювальна записка	95	
3	A1	МД.ГД.01	Матеріали аналітичного огляду	1	
4	A1	МД. ГД.02 (01...04)	Схеми	1	
5	A1	МД.ГД.03.(01..04)	Складальні креслення	3	
6	A1	МД.ГД.04.(01..04)	Графіки	3	
7	A1	МД.ГД.05	Презентаційний аркуш	1	
Загальна кількість графічних документів - 9 арк.ф. А1					

				МД.ВМД		
	ПІБ	Підп.	Дата	Відомість магістерської дисертації	Лист	Листів
Розробн.	Сорочинський Р. Р				1	1
Керівн.	Дубінець В. І				КПІ імені Ігоря Сікорського каф. ПБ гр. ПІ – 71мп	
Конс.	Бояринова К. О.					
Н/контр.						
Зав.каф.						

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет \_\_\_\_\_ Приладобудівний  
(повна назва)

Кафедра \_\_\_\_\_ Приладобудування  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність(спеціалізація) 152 Метрологія та інформаційно-вимір-  
вальна техніка (Інформаційні технології та  
вимірювальні системи механіки)  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ М.Д.Гераїмчук  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_\_» листопад 2018 р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту**

\_\_\_\_\_ Сорочинському Ростиславу Руслановичу \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Дослідження та оптимізація виконавчих елементів  
систем впорскування палива \_\_\_\_\_

науковий керівник дисертації доцент к. т. н. Дубінець В. І  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «05» листопада 2018 р. № 4078-с

2. Строк подання студентом дисертації 6 грудня 2018р

3. Об'єкт дослідження є система управління імпульсного впорскування  
палива з клапанами серії E-PPN, для дизельних двигунів. \_\_\_\_\_

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за  
освітньо-професійною програмою) електромагнітний клапан як базовий  
елемент виконавчого органу імпульсної системи впорскування палива. \_\_\_\_\_

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Огляд та аналіз інтелектуальних систем впорскування палива. 2. Огляд робочих режимів дизелів та типів систем управління. 3.Оглядо особливостей моделювання та розрахунку паливних систем. 4 Розрахунок котушки електромагніту. 5. Розрахунок зворотної пружини. 6. Розробка методики дослідження електромагніту на випробувальному стенді.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу  
Складальний кресленик 1 А1, Креслення деталей 2 А1, Матеріали аналітичного огляду 2 А1, Графіки 3 А1, Презентаційний лист 1 А1.

7. Орієнтовний перелік публікацій: 2 статті видані у збірнику матеріалів конференції «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні»

#### 8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка СТАРТАП-проекту	доцент к.е.н. Бояринова К.О		

#### 9. Дата видачі завдання 2 листопада 2018р

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд та аналіз матеріалів	11.10.18	Виконано
2	Метрологічний аналіз характеристик засобів вимірювальної техніки	14.11.18	Виконано
3	Розробка методики дослідження	21.11.18	Виконано
4	Розробка СТАРТАП-проекту	28.11.18	Виконано

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

# **Реферат**

## **Актуальність теми**

Дизельні двигуни найбільш широко застосовуються у всіх сферах життєдіяльності людини. Затребуваність дизелів пояснюється, перш за все їх високою ефективністю роботи, надійністю, довговічністю і хорошою паливною економічністю. Вимоги до норм токсичності відпрацьованих газів та паливної економічності дизельних двигунів постійно зростають, і стають з кожним роком все більш жорсткими. Для транспортних та стаціонарних дизельних двигунів, які працюють в широких діапазонах швидкісних і навантажувальних режимів, одним з найбільш ефективних методів зниження витрати палива та зменшення відповідно викидів токсичних речовин є застосування інтелектуальних систем управління впорскуванням палива з клапанами серії E-PPN.

З використанням електромагнітних клапанів серії E-PPN з'являється можливість регулювання кута випередження подачі палива у всьому робочому діапазоні обертів та навантаження дизельного двигуна. Це забезпечує від 8 до 12% економії витрати палива, і відповідно суттєво покращує екологічні параметри двигуна. Оптимізація електромагнітів, які застосовуються в клапанах серії E-PPN є дуже актуальною проблемою, що впливає на вирішення задач оптимізації паливної економічності та виконання екологічних норм.

## **Мета та завдання дослідження**

Метою роботи є дослідження та оптимізація параметрів виконавчого елемента E-PPN клапану-катушки електромагніту, експериментальні дослідження її характеристик, розробка інтелектуальної системи управління впорскуванням палива з клапанами серії E-PPN.

## **Завдання:**

- виконати теоретичний розрахунок катушки електромагніту,
- виконати теоретичний розрахунок зворотної пружини для електромагніту катушки,

- провести експериментальні дослідження електромагніту з розрахованою котушкою на відповідність математичної моделі.

### **Об'єкт дослідження**

Об'єктом дослідження є система управління імпульсного впорскування палива з клапанами серії E-PPN, для дизельних двигунів.

### **Предмет дослідження**

Електромагнітний клапан як базовий елемент виконавчого органу інтелектуальної системи імпульсного впорскування палива дизельних двигунів.

### **Наукова новизна**

Теоретично розрахований та практично досліджений модифікований варіант електромагніту для застосування в клапанах серії E-PPN, має значно кращі технічні параметри по відношенню до серійного зразка, а саме:

- збільшено максимальне зусилля електромагніту,
- покращено швидкодію електромагніту,
- покращено економічність споживання енергії.
- оптимізовано масо-габаритні параметри електромагніту.

Розроблена методика тестування, яку можна застосовувати для оптимізації та покращення технічних параметрів електромагнітних клапанів різноманітних швидкодійних виконавчих механізмів

## **Summary**

### **The actuality of theme**

Diesel engines are most widely used in all spheres of human life. The demand for diesel engines is explained by their high efficiency, reliability, durability and good fuel economy. Requirements to the standards of toxicity of exhaust gases and fuel efficiency of diesel engines are constantly increasing, and they become more tight every year. For transport and stationary diesel engines operating in wide ranges of high-speed and load modes, one of the most effective methods for reducing fuel consumption and reducing emissions of toxic substances is the use of intelligent fuel injection control systems with E-PPN series valves.

With the use of electromagnetic valves of the E-PPN series becomes possible to adjust the predefined angle of fuel supply throughout the operating range and the load of the diesel engine. It provides from 8 to 12% savings of fuel consumption, and thus significantly improves the environmental parameters of the engine. The optimization of electromagnets used in the valves of the E-PPN series is a very urgent problem, which pours on the task of optimizing fuel economy and implementing environmental norms.

### **The purpose and tasks of the study**

The purpose of the work is to study and optimize the parameters of the actuator E-PPN valve-coil of an electromagnet, experimental research of its characteristics, the development of intelligent fuel injection control system with the valves of the E-PPN series.

### **Main tasks are:**

- perform a theoretical calculation of the coil of an electromagnet;
- perform a theoretical calculation of the return spring for a coil electromagnet;
- to conduct experimental studies of an electromagnet with a designed coil on the correspondence of a mathematical model.



**Object of study**

The object of research is a coil for a fuel electromagnet E-PPN valve used in intelligent pulsed injection systems for diesel engine fuel.

**Subject of study**

The basic element of the executive body is the intelligent systems of pulsed injection of diesel fuel.

**Scientific novelty**

The theoretically calculated and practically investigated a modified version of an electromagnet for use in the valves of the E-PPN series, has considerably better technical parameters in relation to the serial sample, namely:

- is increased maximum electromagnet effort,
- is improved the electromagnet speed,
- is improved the energy efficiency,
- the mass-dimensional parameters of the electromagnet are optimized.

The developed testing technique, which can be used for optimization and improvement of technical parameters of electromagnetic valves of various fast-moving actuators.

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів.....	11
Вступ.....	13
1. Огляд та аналіз матеріалів за темою магістерської дисертації.....	15
1.1 Огляд основних параметрів дизелів та способів їх покращення.....	15
1.2 Огляд робочих режимів дизелів та типів систем управління .....	16
1.3 Особливості переходу від механічних до електронних систем регулювання обертів двигуна .....	20
1.4 Особливості моделювання та розрахунку паливних систем.....	29
1.5 Огляд та аналіз електромагнітів систем паливоподачі .....	35
1.5.1 Круглі електромагніти серії RM-07 .....	36
1.5.2 Круглі електромагніти серії RM-08 .....	37
1.5.3 Круглі електромагніти серії RM-10 .....	38
1.5.4 Електромагніт прямокутної форми SM-06.....	39
1.5.5 Електромагніт прямокутної форми SM-07.....	40
1.5.6 Електромагніт прямокутної форми SM-08.....	41
Висновок .....	42
2.Розрахунок котушки модифікованого електромагніту RM-08A.....	42
2.1 Розрахунок щільності струму в залежності від діаметру провода .....	50
3. Розрахунок зворотної пружини .....	55
4. Вибір вимірювальної апаратури.....	59
5. Розробка методики дослідження електромагніту на випробувальному стенді .....	67
5.1 Розробка структурної схеми випробувального стенда .....	72
Загальні висновки.....	82
6.Розробка СТАРТАП-проекту.....	84
6.1 Опис ідеї проекту.....	84
6.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	86
6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту .....	86
6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	92
6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	94
6.6 Висновки .....	97
Перелік посилань .....	98

## Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів

ВГ	- Відпрацьовані газ;
Е-РРН	-паливний насос з клапаном - Трубопровід – Форсунка;
ККД	-коефіцієнт корисної дії;
ПНВТ	- паливний насос високого тиску;
$\delta$	- відносна похибка, %;
D	- діаметр обмотки провoda, мм;
U	- напруга живлення, В;
$\omega$	- кількість витків обмотки;
$\rho$	- питомий опір міді, <b>Ом × м</b> ;
$l_{\text{ср}}$	- середня довжина витка, <b>м</b> ;
q	- січення намотувального дроту, <b>мм<sup>2</sup></b> ;
$Q_{\text{об}}$	- площа вікна, займаною рядовою обмоткою провoda, <b>м<sup>2</sup></b> ;
$P$	- потужність, <b>Вт</b> ;
$F$	- магніторушійна сила A - w;
$j$	- щільність струму A/мм <sup>2</sup> ;
$P_1$ пруж	- сила пружини при початковій деформації, Н;
$P_2$ пруж	- сила пружини при робочій деформації, Н;
$P_3$ пруж	- сила пружини при максимальній деформації, Н;
$h$	- хід пружини, мм;
N	- кількість циклів;
$D_{\text{пруж}}$	- зовнішній діаметр пружини, мм;
$\nu$	- швидкість пружини, м/с;
$d_{\text{пруж}}$	- діаметр дроту, мм;
$z_1$	- жорсткість одного витка, Н/мм;
$f_3$	- максимальна деформація одного витка, Н/мм;
$\tau_3$	- максимальне дотичне напруження при крученні, МПа;

$V_{кр}$  - критична швидкість, м/с;

$\delta_{інерц.зазор}$  - інерційний зазор;

$z$  - жорсткість пружини, Н/мм;

$n$  - число робочих витків пружини;

$n_1$  - повне число витків пружини;

$F_1$  - початкова деформація пружини, мм;

$F_2$  - робоча деформація пружини, мм;

$F_3$  - максимальна деформація пружини, мм;

$H_3$  - висота пружини при максимальній деформації, мм;

$H_0$  - висота пружини у вільному стані, мм;

$H_1$  - висота пружини при попередній деформації, мм;

$H_2$  - висота пружини при робочій деформації, мм;

$t$  - крок пружини, мм.

				МД.ПІ71мн.20.000.00ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	12

## Вступ

Дизельні двигуни найбільш широко застосовуються у всіх сферах життєдіяльності людини. Затребуваність дизелів пояснюється, перш за все їх високою ефективністю роботи, надійністю, довговічністю і хорошою паливною економічністю. Вимоги до норм токсичності відпрацьованих газів (ВГ) дизельних двигунів постійно зростають і стають все більш жорсткими. Для транспортних та стаціонарних дизельних двигунів, які працюють в широких діапазонах швидкісних і навантажувальних режимів, одним з найбільш ефективних методів зниження витрати палива та зменшення відповідно викидів токсичних речовин є застосування інтелектуальних систем управління частотою обертання та впорскуванням палива [1].

Якщо в гідромеханічних системах подачі палива, оптимальний кут випередження впорскування палива задається лише на одному номінальному режимі роботи двигуна, то з використанням інтелектуальних систем управління впорскування палива, оптимальний кут випередження впорскування палива задається у всьому діапазоні частот обертання та навантаження.

Найбільш важливі сфери застосування дизельних двигунів наступні:

- Стаціонарні генераторні установки;
- Компресорні силові установки;
- Шахтні силові установки;
- Тепловози;
- Кар'єрні багатотонні самоскиди;
- Будівельна та сільськогосподарська техніка;
- Вантажні автомобілі;
- Судові головні силові та допоміжні силові установки.

Найбільш відомі світові фірми що виробляють дизельні двигуни це: MAN, DEUTZ, PERKINS, DAIMLER, CATERPILLAR, CUMMINS, MTU, ABC, та інші[2].

Для модернізації гідромеханічних систем подачі палива існуючих дизельних двигунів, найбільш придатною є інтелектуальна система управління з електромагнітним клапаном серії E-PPN, так як вона не вимагає зміни конструкції основних складових частин паливної апаратури дизеля. Така система розроблена та серійно реалізується фірмою HEINZMANN, та використовує принцип управління: «Паливний насос з клапаном E-PPN - Трубопровід – Форсунка» (надалі E-PPN) [3]. Паливна рейка та її привід при цьому демонтується, як не потрібний елемент регулювання. Тепер початок і кінець фази подачі палива визначається моментом проходження струму через електромагнітний клапан, в залежності від обертів двигуна та навантаження. Таким чином з'являється можливість регулювання кута випередження подачі палива у всьому робочому діапазоні обертів та навантаження дизельного двигуна. Це забезпечує до 12% економії витрати палива двигуном, відповідно покращує екологічні параметри, дозволяє реалізувати відключення частини циліндрів на режимах малих навантажень, вирівнювання температур, що відповідно суттєво покращує робочі параметри дизеля [4].

				МД.ПІ71мн.20.000.00ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	14

# 1. Огляд та аналіз матеріалів за темою магістерської дисертації

## 1.1 Огляд основних параметрів дизелів та спосіб їх покращення

Транспортні та стаціонарні дизельні двигуни середньої та великої потужності бувають в основному двох типів: рядні або V-подібні. Кількість циліндрів вварюється в діапазоні від 6 до 24 циліндрів. Існують також досить унікальні по конфігурації типи дизельних двигунів. Наприклад, фірма «ЗВЕЗДА», з Санкт-Петербурга, виготовляє дизеля, які мають 42 або 56 циліндрів, та розташовуються блочно у вигляді 6- або 7-променевої зірки з одним колінчатим валом [5].

Основні параметри дизельних двигунів наступні [6]:

- Максимальна потужність двигуна при номінальних обертах;
- Циліндрова потужність;
- Максимальний крутний момент при відповідних обертах;
- Діапазон частоти обертання колінвалу;
- Питома витрата палива;
- Часова витрата палива;
- Тип паливної апаратури;
- Відповідність екологічним нормам;
- Масо-габаритні розміри двигуна.

Дизельні двигуни середньої та великої потужності мають досить великий термін експлуатації, який деколи може досягати 50 років. Тому такі дизеля найбільш потребують з часом технічної модернізації, для можливості виконання текучих на даний момент часу вимог до паливної економічності, відповідності екологічним нормам, покращення та спрощення процесу управління, діагностування технічного стану та іншим нормам.

					МД.ПІ71мн.20.000.00ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Лише використання сучасних інтелектуальних систем впорскування палива та регулювання частоти обертання, основний спосіб, який дає можливість реалізувати всі перераховані вище вимоги до модернізації дизелів, що забезпечить значно кращу їх паливну економічність, та реалізує оптимальний режим роботи та експлуатації двигуна [7].

## **1.2 Огляд робочих режимів дизелів та типів систем управління**

Дизельні двигуни для стаціонарних генераторних та компресорних установок працюють з фіксованою частотою обертання колінчастого валу, але з перемінним навантаженням. Для реалізації такого режиму роботи використовується однорежимний регулятор частоти обертання. Двигун і система живлення в цьому випадку повинні бути оптимально узгоджені для роботи в фіксованому режимі.

Однорежимний регулятор частоти обертання колінчастого валу змінює величину подачі палива в залежності від зміни навантаження, при цьому частота обертання залишається фіксованою. Найчастіше на стаціонарних агрегатах використовується апаратура впорскування палива з механічним регулятором, який при модернізації двигуна замінюється на інтелектуальну систему управління [8].

Дизельні двигуни для важких вантажних автомобілів, де насамперед важливі хороші тягові властивості та паливна економічність, обладнаються системою безпосереднього впорскування палива зі всережимним регулятором частоти обертання колінчастого валу. Такий регулятор змінює величину подачі палива в залежності від зміни навантаження та частоти обертання. Максимальна частота обертання колінчастого валу цих двигунів досягає величини 3500 об/хв. Норми токсичності відпрацьованих газів (далі ВГ) таких автомобілів стають все більш жорсткими [9]. Таки чином, лише застосування інтелектуальних систем управлінням впорскуванням палива з середнім тиском впорскування (до 1800 бар) на основі клапанів E-PPN, або акумуляторних системи управлінням з

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МД.ПІІ71мн.20.000.00ПЗ
					16



високим тиском впорскування палива (до 3000 бар) типу «Common Rail», дає можливість виконати ці вимоги.

Одним з основних та найбільш важливих етапів адаптації інтелектуальної системи до дизеля є стендові випробування. Схема системи вимірювання циклової подачі палива в акумуляторній системі типу «Common Rail» на випробувальному стенді наведено нижче на рис.1 [10].

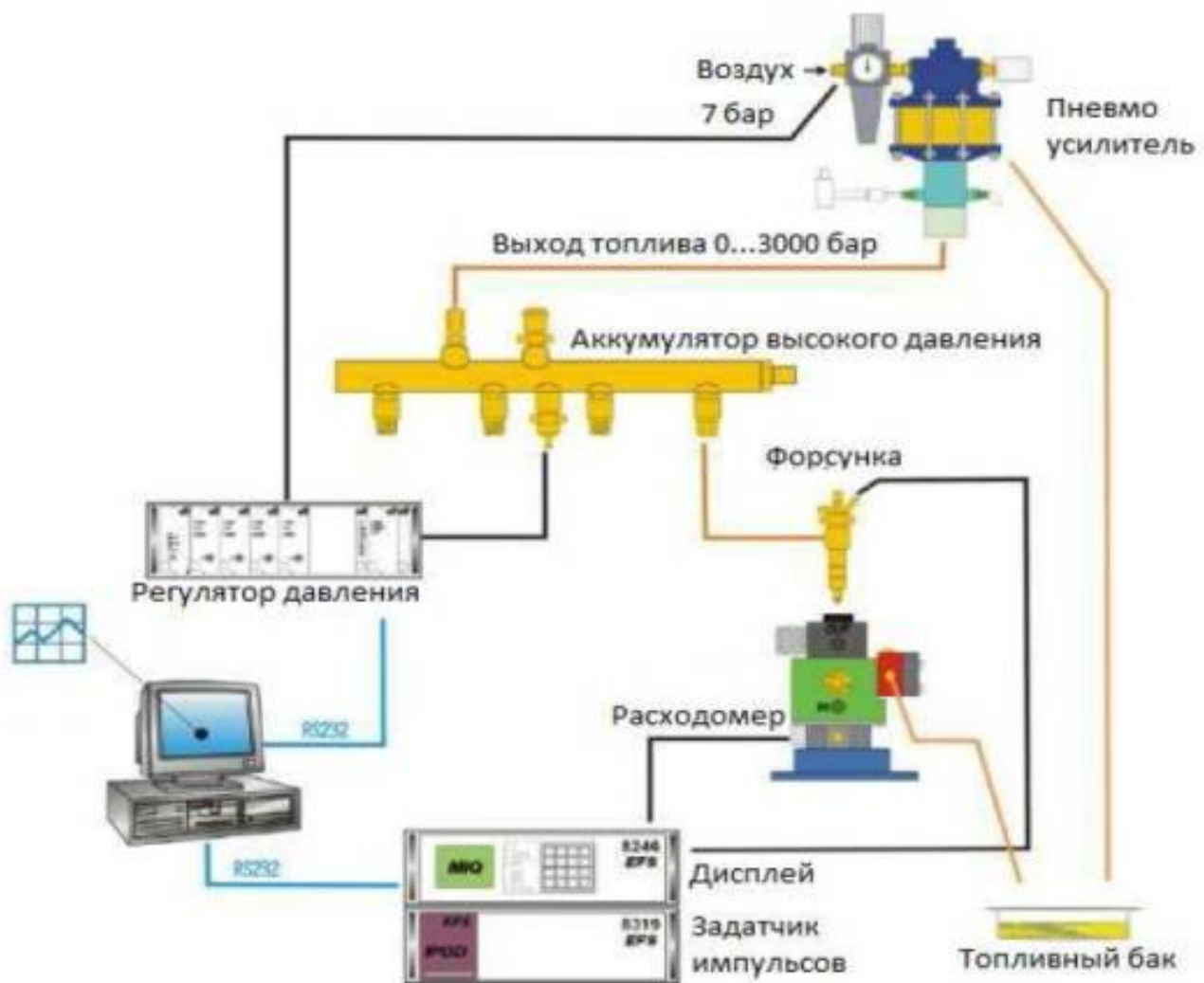


Рисунок 1. Схема системи вимірювання циклової подачі на стенді для випробувань систем Common Rail

Вимірювальний комплекс повинен реалізувати можливість одночасного вимірювання наступних параметрів управління електрогідравлічними форсунками акумуляторної системи впорскування палива типу Common Rail, а саме [10]:

- величини струму керування електромагнітним клапаном;
- напруга живлення електромагнітного клапану;
- тривалість керуючого сигналу електромагнітного клапану;
- опір обмотки котушки електромагнітного клапану
- затримки спрацьовування клапану;
- максимальна продуктивність електромагнітних форсунок;
- циклова подача палива;
- температури і тиск впорскування палива та інші [10].

Для будівельної і сільськогосподарської техніки дуже важливою є функція миттєвого переключення двигуна з одного режиму роботи на другий, наприклад з транспортного режиму рух на генераторний, або компресорний основний робочий режим. Це реалізує так звану функцію «зручності експлуатації та обслуговування». Таку функціональність може забезпечити тільки інтелектуальна система управління впорскуванням палива, що на жаль не можливо з механічними системами управління.

В області будівельних і сільськогосподарських машин все більшого застосування набирає нова функція дистанційного, або безпілотного управління дизелями та відповідно машинами в діапазоні потужностей від 50 кВт до 3000 кВт. Лише інтелектуальні системи управління, які легко стикаються з дистанційними комп'ютерними системами управління придатні для безпілотного використання сільськогосподарської техніки [11].

Більшість дизельних транспортних двигунів середньої та великої потужності використовуються на тепловозах та кораблях. Тому вони дуже конструктивно схожі, що обумовлено, зокрема таки важливим параметром, як досить тривалий та безвідмовний термін експлуатації. У цьому випадку застосовуються або чотиритактні середньо обертові дизельні двигуни з частотою обертання колінчастого валу  $n < 750 \dots 1200$  об/хв, або низько обертові дизелі з частотою обертання колінчастого валу  $n < 150 \dots 300$  об/хв, які мають найвищий серед

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МД.ПІ71мн.20.000.00ПЗ
					18

поршневих двигунів коефіцієнт корисної дії (ККД) до 55% [11]. Крім того, вони можуть працювати на недорогому важкому мазуті [12].

Приклад такої силової установки для тепловозного та корабельного примінення приведена нижче на рис. 2. [11]

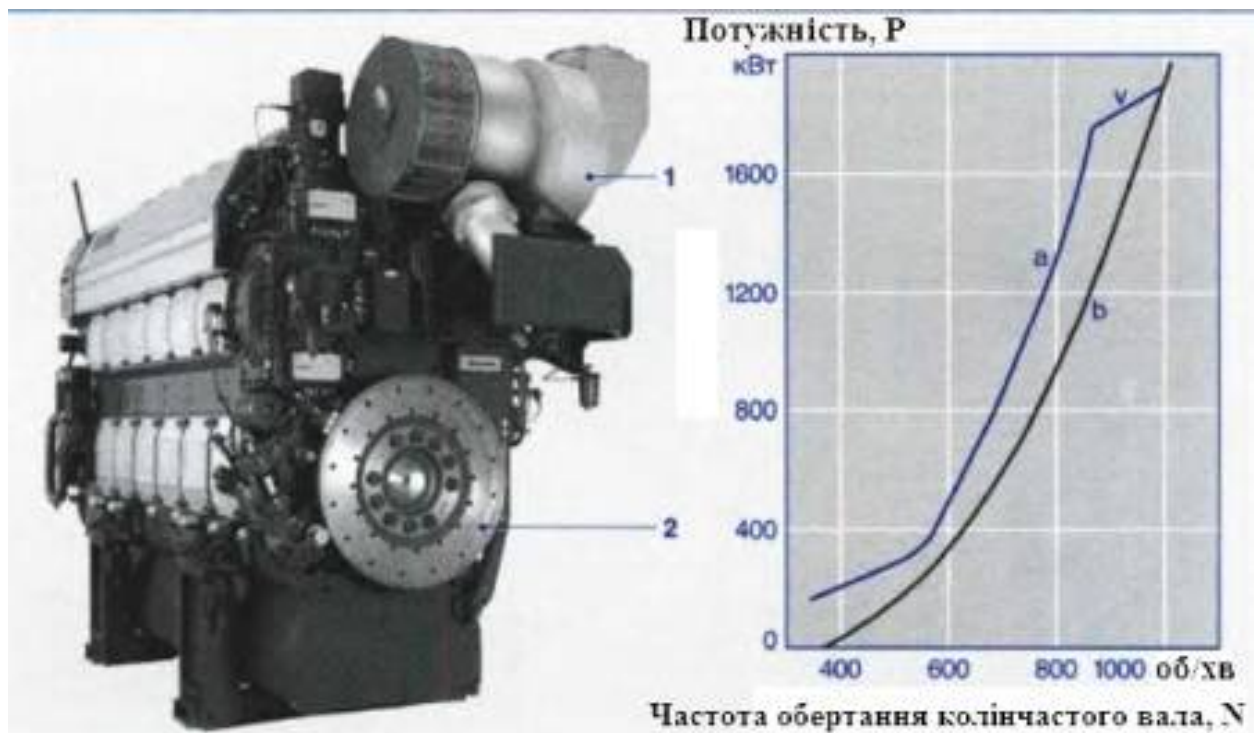


Рисунок 2. Силова установка тепловозного та корабельного примінення.

Для цього, на борту тепловоза або корабля потрібна спеціальна установка для підготовки важкого палива (мазуту). Залежно від якості важкого палива, його слід підігрівати до високої температури, порядку 160°C. Тільки при таких умовах в'язкість мазуту зменшується до значень, які забезпечують необхідну роботу паливних фільтрів та насосів. Такі дизельні двигуни запускаються на дизельному паливі, прогріваються до робочої температури, і лише після цього починається перехід та основна робота на мазуті. Зупинка двигуна здійснюється в зворотному порядку [11]. Реалізувати вище описаний алгоритм роботи на важкому паливі в повністю автоматичному режимі можливо також лише при заміні старих гідромеханічних систем управління на інтелектуальну систему впорскування палива. Тим більше, що електромагнітні паливні клапани серії E-PPN інтелектуальної системи керування спеціально адаптовані під важкі палива,

за рахунок підбору значного більшого зусилля електромагніту та електричних параметрів управління ним, що пов'язано як з хімічними властивостями важкого палива, так і з особливостями його горіння.

### **1.3 Особливості переходу від механічних до електронних систем регулювання обертами двигуна**

Зараз відбувається інтенсивний перехід від механічних або гідромеханічних систем регулювання частоти обертання колінчастого валу двигуна до інтелектуальних систем управління обертами. Оскільки термін служби дизелів середньої та великої потужності досить великий, то така модернізація відбувається при капітальних, або текучих ремонтах дизелів.

Для правильного розуміння принципу та алгоритмів функціонування інтелектуальних систем управління, необхідно розуміти принцип роботи механічних систем, які модернізуються, або замінюються. У механічному регуляторі обертів двигуна, для підтримання заданих обертів використовується центробіжний механізм на основі підпружинених центробіжних грузиків. Існують дві основні схеми регуляторів обертів, це всережимний та двухрежимний регулятори. Існує також однорежимний регулятор, але він являється спрощеною версією всережимного регулятора [13].

#### **Всережимний регулятор**

Всережимний регулятор здатний регулювати частоту обертання колінчастого валу у всьому діапазоні роботи дизеля. Переміщуючи за допомогою педалі газу установочний важіль, водій може задати любую частоту обертання і підтримувати її більш або менш постійною в залежності від нахилу характеристики, яка приведена на рис. 3 [13].

Це особливо актуально коли допоміжні агрегати (лебідка, водяний насос, масляний насос, допоміжний привід і тд.) приводяться від автомобільного або стаціонарного дизеля. Такий же принцип використовується в

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МД.ПІІ71мн.20.000.00ПЗ
					20

сільськогосподарській та кар'єрній техніці (тягачі, самоскиди, комбайни і тд.) [13].

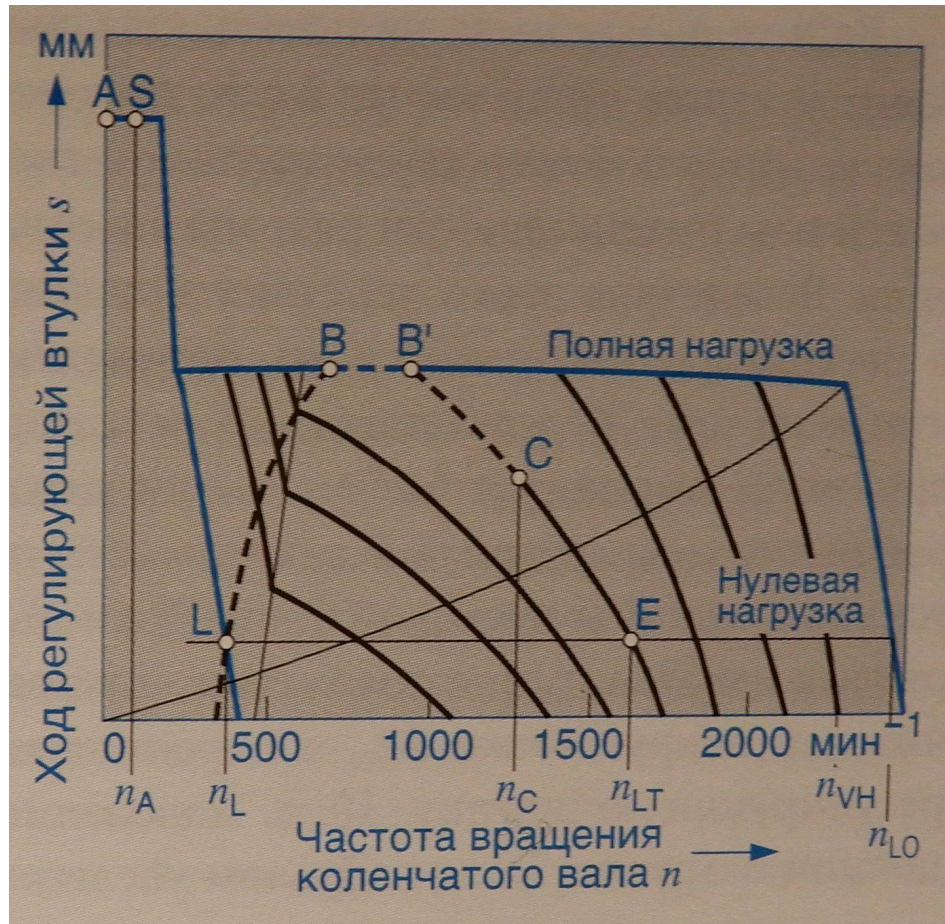


Рисунок 3. Поле характеристик всережимного регулятора

На рисунку 3 використано наступні позначення [13]:

- A: регулювальна втулку в пусковому положенні;
- B: запуск дизеля з пусковою подачею;
- S-L: перехід з пускової подачі на подачу холостого ходу
- L: частота холостого ходу  $n_{LN}$  після запуску двигуна (без навантаження);
- L-B: фаза прискорення двигуна після переміщення установочного важеля із положення холостого ходу в положення необхідної частоти обертання  $n_C$ ;

В-В': регулювальна втулка залишається короткочасно в положення максимальної подачі, і відбувається швидке збільшення частоти колінчастого валу;

В'-С: зворотне переміщення регулювальної втулки (мала циклова подача, збільшена частота обертання), автомобіль отримує бажану швидкість або частоту  $n_c$  обертання колінчастого валу при частковому навантаженні у відповідності з нахилом регуляторної характеристики;

Е: частота  $n_{LT}$ , яка досягається після розвантаженні двигуна при незмінному положенні установочного важеля [13].

При використанні інтелектуальної системи управління, яка повинна виконувати функції всережимного регулятора, в програмне забезпечення блоку управління повинна бути закладена вище приведена характеристика.

На рис. 4 приведена кінематична схема механічного всережимного регулятора. Крутний момент передається від привідного валу на регуляторну групу, в яку входять центробіжні грузи та їх корпус. При цьому регуляторна група обертається на осі 12 регулятора в корпусі паливного насосу високого тиску (ПНВТ). Центробіжні грузи 11 перетворюють своє радіальне переміщення в аксіальний рух ковзаючої втулки 10. Зусилля і хід ковзаючої втулки впливають на роботу важільного механізму, який включає в себе натяжний 2, регулювальний 3 і пусковий 4 важелі. Регулювальний важіль може коливатися в корпусі ПНВТ і доходити до обмежувача 1 максимального навантаження. На цьому ж важелі, таким же чином можуть коливатися натяжний і пусковий важелі. Останній в нижній частині має шаровий палець, який з'єднаний з додатковою регулювальною втулкою 7 на плунжері. На верхній частині пускового важеля закріплена пускова пружина 6. Верхня частина натяжного важеля служить місцем для розміщення тримаючого пальця 18, на якій надіта пружина 19 холостого ходу. Крім цього, до цього ж пальця кріпиться пружина 17 регулятора. Проміжний важіль 13 і установочний важіль 14 зв'язані через валик 16 установочного важеля [13].



Взаємодія зусиль ковзаючої втулки 10 та декількох пружин визначає результуюче положення важільного механізму. Зміна цього положення спричиняє зміщення регулюючої втулки, що в свою чергу визначає величину циклової подачі палива (наприклад,  $h_1$  або  $h_2$ ) [13].

Схема вище описаного всережимного регулятора обертів двигуна в положенні пуску та холостого ходу приведено на рис. 4 [13].

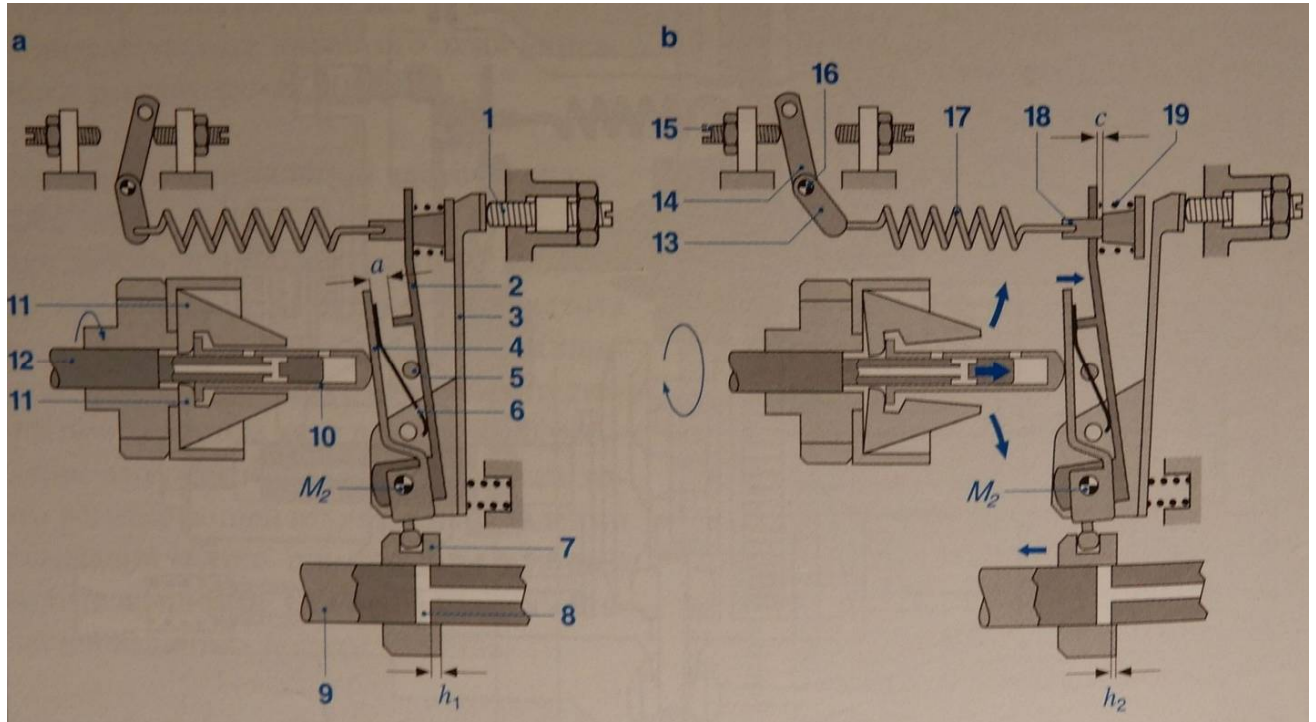


Рисунок 4. Всережимний регулятор в положенні пуску та холостого ходу

На рис. 4 використано наступні позначення [13]:

- a** Всережимний регулятор в положенні пуску двигуна;
- b** Всережимний регулятор в положенні холостого ходу;
- 1. Регулювальний обмежувач максимального навантаження;
- 2. Натяжний важіль;
- 3. Регулювальний важіль;
- 4. Пусковий важіль;
- 5. Обмежувач в корпусі ПНВТ;
- 6. Пускова пружина;
- 7. Регулювальна втулка;

8. Керуючий отвір плунжера розподільвача;
9. Плунжер розподільвача;
10. Ковзаюча втулка;
11. Центробіжний грузик;
12. Вісь регулятора;
13. Проміжний важіль;
14. Установочний важіль;
15. Регулювальний обмежувач холостого ходу;
16. Валик установочного важеля;
17. Пружина регулятора;
18. Утримуючий палець;
19. Пружина холостого ходу;
- $a$  вільний хід пускової пружини;
- $c$  вільний хід пружини холостого ходу;
- $h_1$  максимальний робочий хід при запуску;
- $h_2$  мінімальний робочий хід в режимі холостого ходу;
- $M_2$  вісь обертання натяжного і пускового важелів [13].

### Двухрежимний регулятор

Двухрежимний регулятор обмежує частоту обертання колінчастого валу на двох частотних режимах – холостого ходу та максимальних обертів. В проміжних положеннях частота обертання регулюється безпосередньо педаллю газу (здатчиком обертів). В наслідок цього досягається висока комфортність руху. Проте цей принцип не використовується на вантажівках та сільськогосподарській техніці. Поле характеристик двухрежимного регулятора приведено на рис. 5 [13].



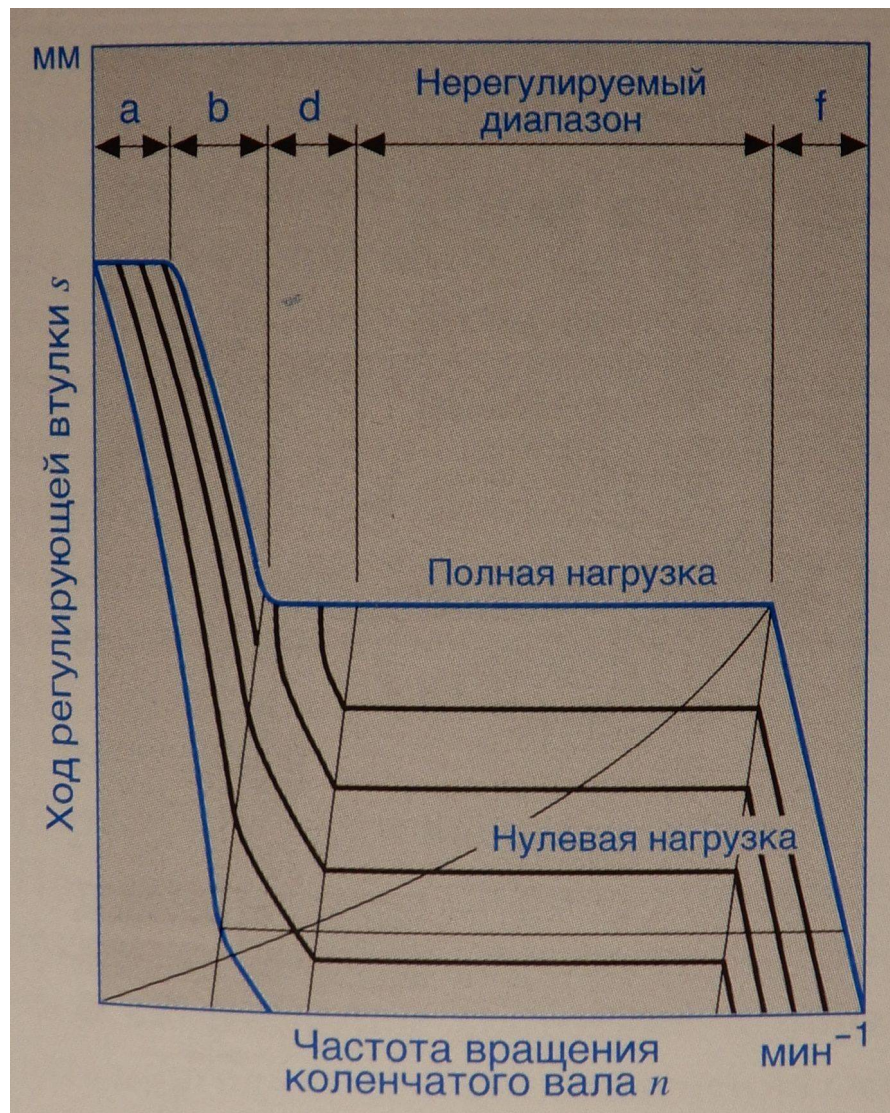


Рисунок 5. Поле характеристик двухрежимного регулятора

На рис. 5 використано наступні позначення [13]:

a – діапазон роботи пускової пружини;

b – діапазон роботи пускової пружини і пружини холостого ходу;

d – діапазон роботи проміжної пружини;

f – діапазон роботи пружини регулятора [13].

Конструкція регуляторної групи з центробіжними грузами та розміщення регулювального важеля аналогічне вже описаного для всережимного регулятора. Відмінність лише в конструкції пружини 4 регулятора, вона працює на стик, а не на розтяг і має направляючий елемент 5. Зв'язок між натяжним важелем та пружиною регулятора здійснюється обмежувачем 7 [13].

На рис. 6 зображено кінематичну схему двухрежимного регулятора.

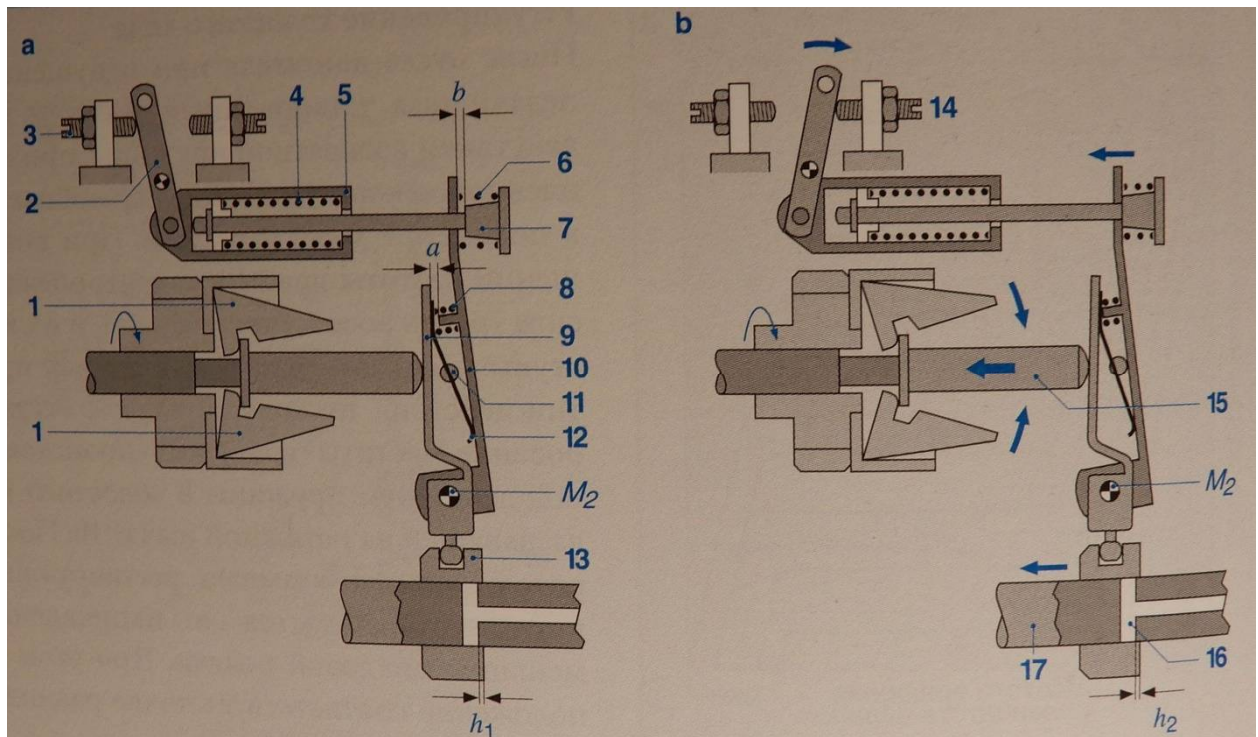


Рисунок 6. Кінематична схема двухрежимного регулятора

На рис. 6 використано наступні позначення [13]:

- a** Положення холостого ходу;
- b** Положення максимального навантаження;
- 1. Центробіжний груз;
- 2. Установочний важіль;
- 3. Регулювальний обмежувач холостого ходу;
- 4. Пружина регулятора;
- 5. Направляючий елемент;
- 6. Проміжна пружина;
- 7. Обмежувач ходу натяжного важеля;
- 8. Пружина холостого ходу;
- 9. Пусковий важіль;
- 10. Натяжний важіль;
- 11. Обмежувач в корпусі в ПНВТ;
- 12. Пускова пружина;
- 13. Регулювальна втулка;

14. Регульований обмежувач максимальної частоти обертання;
15. Ковзаюча втулка ;
16. Керуючий отвір плунжера розподільювача;
17. Плунжер розподільювач;
- $a$  вільний хід пускової пружини та пружини холостого ходу;
- $b$  хід проміжної пружини;
- $h_1$  робочий хід в режимі холостого ходу;
- $h_2$  робочий хід в режимі повного навантаження;
- $M_2$  вісь обертання натяжного і пускового важелів [13].

При використанні інтелектуальної системи управління, яка повинна виконувати функції двухрежимного регулятора, в програмне забезпечення блоку управління повинна бути обов'язково закладена вище приведена характеристика.

Якщо інтелектуальна система управління частотою обертання встановлюється на транспортних засобах, які повинні в транспортному режимі повинні мати двухрежимний регулятор, а в робочому режимі всережимний, то в такому випадку, в програмне забезпечення електронного блоку закладаються обидва алгоритми регулювання з можливістю швидкого переключення з одного на інший за допомогою звичайного перемикача [13, 21].

Сьогодні, при модернізації паливної апаратури дизельних двигунів замість механічних всережимних та двухрежимних регуляторів використовуються інтелектуальні системи управління, які універсальні по приміненню та складаються з наступних основних елементів:

- електронний блок управління;
- один або два датчики частоти обертання (другий резервний);
- задатчик обертів двигуна;
- виконавчий механізм.

Нижче, на рис. 7, приведено структурну схему універсальної інтелектуальної системи управління обертами двигуна [4, 21].

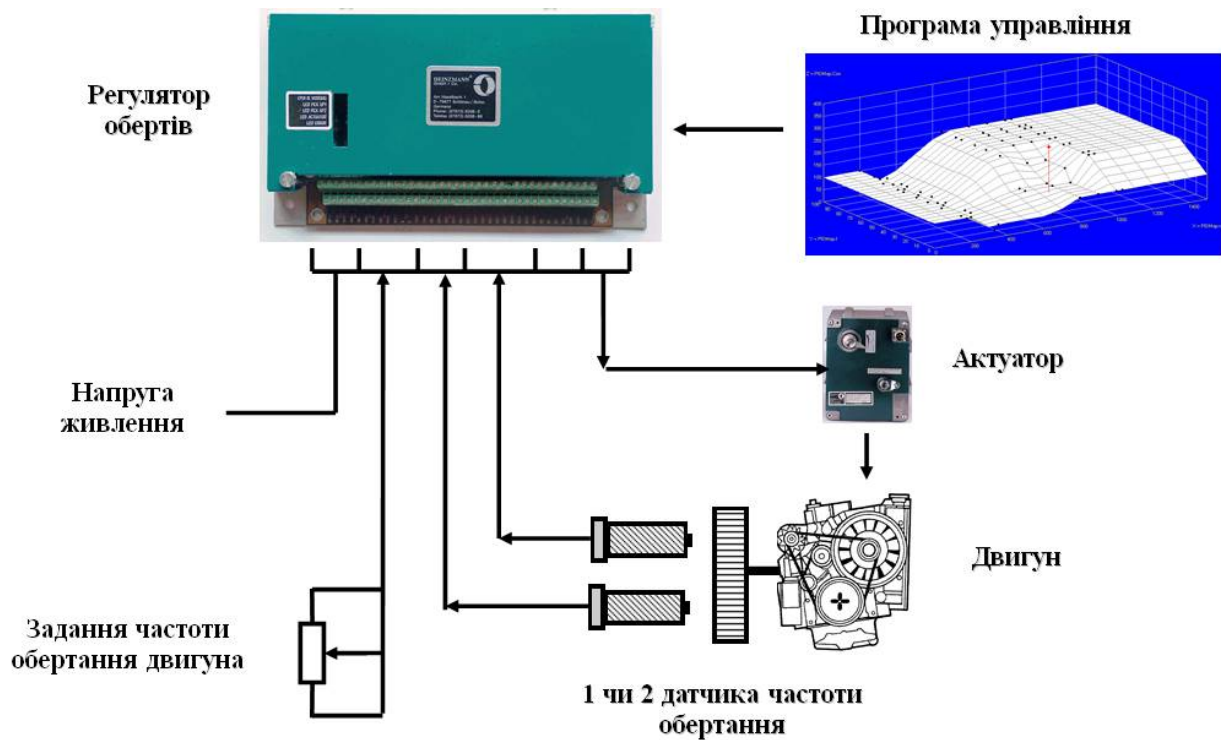


Рисунок 7. Універсальна інтелектуальна система управління

Як виконавчі механізми для електронних систем управління можуть використовуватися різноманітні електричні приводи, такі як:

- Електричні актуатори різноманітної потужності для управління паливною рейкою подачі палива;
- Електромагнітні паливні клапани типу E-PPN для систем електронно керованого впорскування палива під тиском до 1800 бар;
- Форсунки високого тиску з інтегрованими електромагнітними клапанами для акумуляторних систем електронно керованого впорскування палива під тиском до 3000 бар.

Додаткове використання в інтелектуальних системах керування різноманітних типів сенсорів для контролю частоти обертання, температури, тиску, витрати палива та повітря та інші, дозволять суттєво покращити систему управління, що не можливо для механічних систем керування [4, 21].



#### 1.4. Особливості моделювання та розрахунку паливних систем

На сьогодні самими прогресивними системами керування подачею палива являються інтелектуальні системи управління імпульсивного типу дії, в яких імпульс тиску палива формується в паливному насосі високого тиску (ПНВТ), а циклова подача палива забезпечується електромагнітним клапаном, шляхом перепуску необхідної кількості палива з порожнини нагнітання в магістраль високого тиску до інжектора впорскування [14].

Обмеження у використанні акумуляторних систем типу «Common Rail» пов'язано з необхідністю забезпечення дуже специфічних та високих вимог до дизельної апаратури та самого палива, що не завжди можливо до реалізації в реальних умовах експлуатації. Наприклад, робота в умовах повністю затопленого водою машинного відділення, або при екстреному запуску при повному знеструмленні об'єкта. Також системи типу «Common Rail» мають значно вищі вимоги сервісного обслуговування [14].

У зв'язку зі великою циліндровою потужністю дизельних двигунів, магістраль високого тиску гідромеханічної паливної системи виконується індивідуально для кожного циліндра, і складається, як правило, з наступних основних елементів [14]:

- паливного насоса високого тиску (ПНВТ) з паливною рейкою,
- паливопроводу високого тиску,
- паливного інжектора (форсунки).

В акумуляторних системах впорскування типу «Common Rail» додатково використовується гідроакумулятор високого тиску. Магістралі низького тиску обох систем відрізняються незначно і принципових відмінностей не мають, тому на рис. 8, 9 і 10 представлені типові структурні схеми зазначених систем з вузлами високого тиску тільки для одного циліндра [14].

					МД.ПІ71мн.20.000.00ПЗ	29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Гідромеханічна система подачі палива.

Нижче на рис. 8 показана структурна схема класичної гідромеханічної системи подачі палива [14].

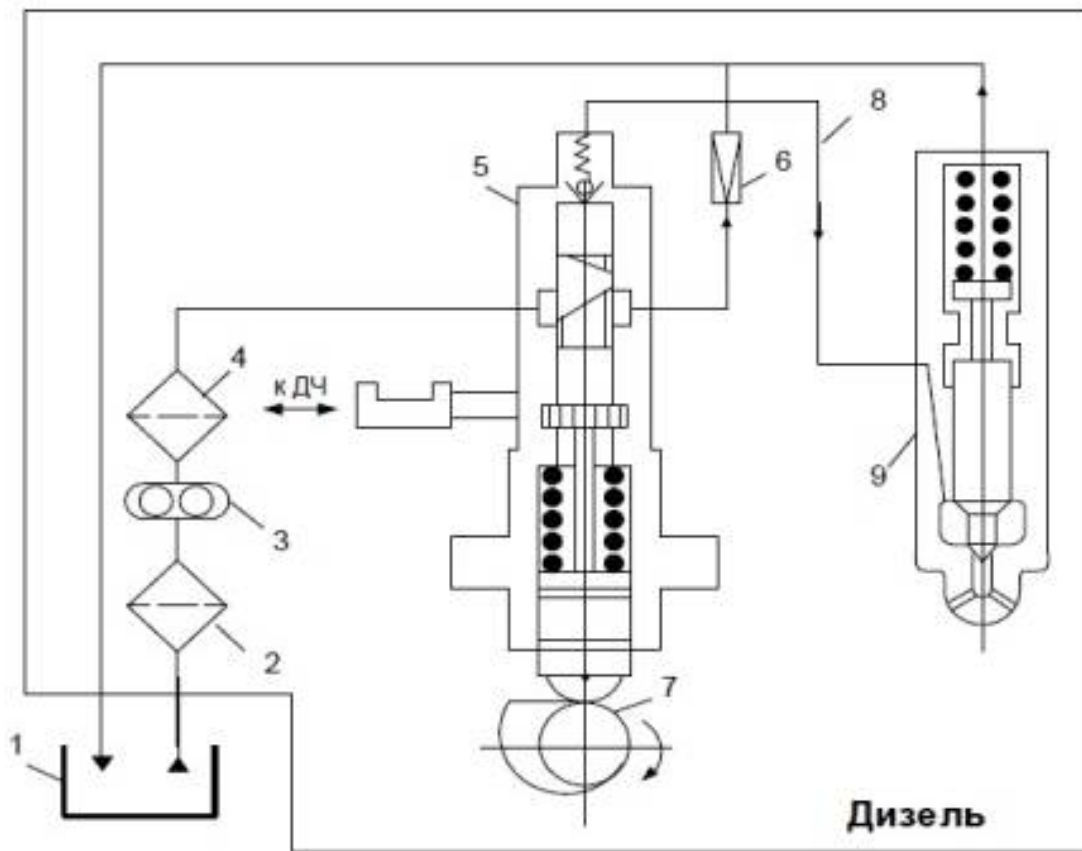


Рисунок 8. Гідромеханічна система подачі палива

На рисунку 8 використано наступні позначення [14]:

1 - паливний бак; 2 - паливний фільтр грубої очистки палива; 3 - паливопідкаючий насос; 4 - фільтри тонкої очистки палива; 5 - паливний насос високого тиску; 6 - підпірний клапан; 7 - привідний кулак на розподільчому валу; 8 - паливопровод високого тиску; 9 - паливний інжектор (форсунка) [14].

Основна перевага класичної гідромеханічних систем полягає лише у відносній простоті конструкції, високій надійності, що досягається за рахунок добре відпрацьованих в часі технологій виготовлення, можливості забезпечення швидкого і надійного пуску двигуна без використання електроенергії, а також

можливості роботи в складних та аварійних ситуаціях, під час боротьби за живучість та працездатність об'єкту [14].

Основним, та найбільшим недоліком гідромеханічних систем впорскування палива є дуже обмежена можливість управління законом подачі палива.

### Система подачі палива імпульсного типу

Нижче на рис. 9 показана структурна схема системи подачі палива імпульсного типу з клапанами типу E-PPN [14].

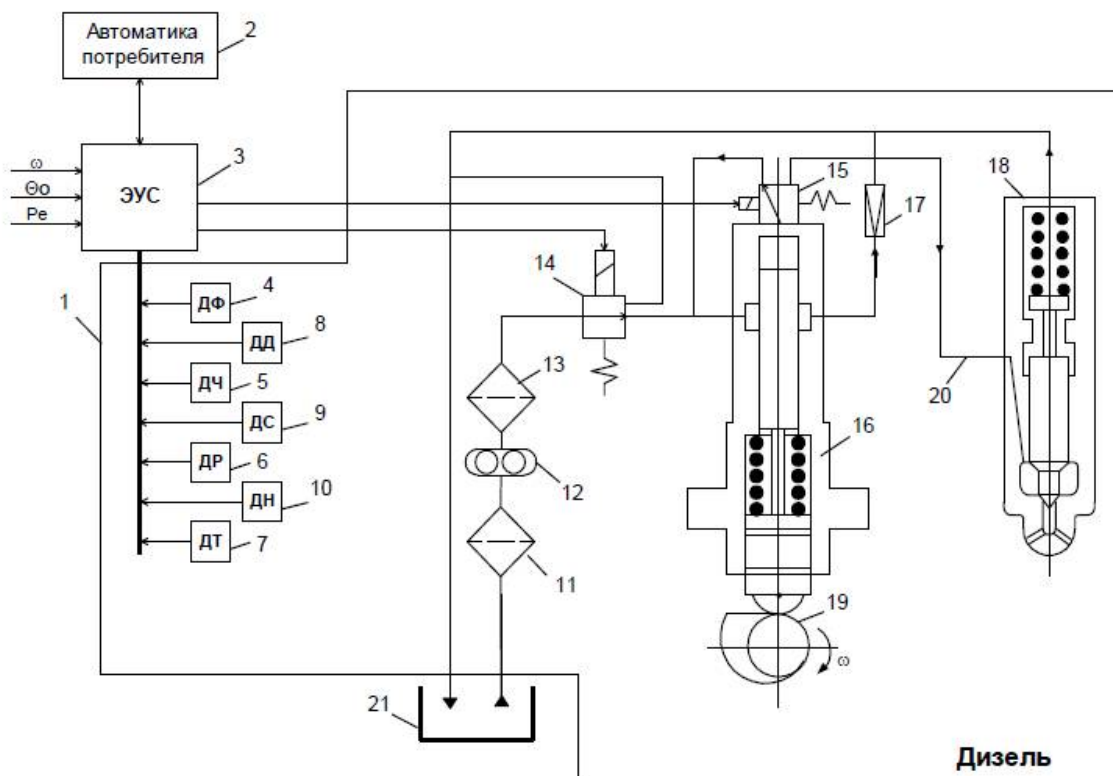


Рисунок 9. Система подачі палива імпульсного типу

На рисунку 9. використано наступні позначення[14]:

1 - комплект системи паливоподачі імпульсного типу, яка монтується на дизелі, 2 – електронний блок керування силовим агрегатом, 3 – електронний блок керування імпульсною системою впорскування палива, 4 – датчик фази колінчастого валу (ДФ); 5 - датчик частоти обертання (ДЧ); 6 - датчик фази розподільного валу (ДР); 7 - датчик температури в циліндрі (ДТ); 8 - датчик тиску в циліндрі (ДД); 9 - датчик складу відпрацьованих газів (ДС); 10 - датчик

навантаження (ДН); 11 – фільтр грубої очистки палива, 13 – фільтри тонкої очистки палива; 12 - паливопідкаючий насос; 14 – захисний клапан аварійного відключення подачі палива; 15 - електромагнітний паливний клапан (Е-PPN); 16 – паливний насос високого тиску (ПНВТ); 17 - підпірний клапан; 18 - паливний інжектор (форсунка); 19 - привідний кулак на розподільчому валу; 20 - паливопровід високого тиску; 21 - паливний бак [14].

Паливна система впорскування палива імпульсної дії з інтелектуальним управлінням з клапанами типу Е-PPN має наступні перевагами:

- відносна простота конструкції,
- можливість швидкої, та мало затратної модернізації існуючих гідромеханічних систем впорскування
- можливості гнучкого управління випередженням впорскування палива,
- можливість реалізація багатозфазного впорскування палива
- можливість індивідуальної корекції кута випередження впорскування палива по кожному циліндру,
- можливість індивідуальної корекції кількості палива індивідуально по кожному циліндру,
- можливість відключення частини циліндрів в залежності від режиму роботи дизеля
- можливість вирівнювання температур відпрацьованих газів по всіх циліндрах двигуна,
- висока швидкодія системи,
- та інші [14].

Як недолік цієї систем слід зазначити неможливість гнучкого управління тиском впорскування, який як і в гідромеханічних систем залежить від обертів двигуна [14].

### **Система подачі палива акумуляторного типу**

Нижче на рис. 10 показана структурна схема системи подачі палива акумуляторного типу [14].

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МД.ПІІ71мн.20.000.00ПЗ
					32



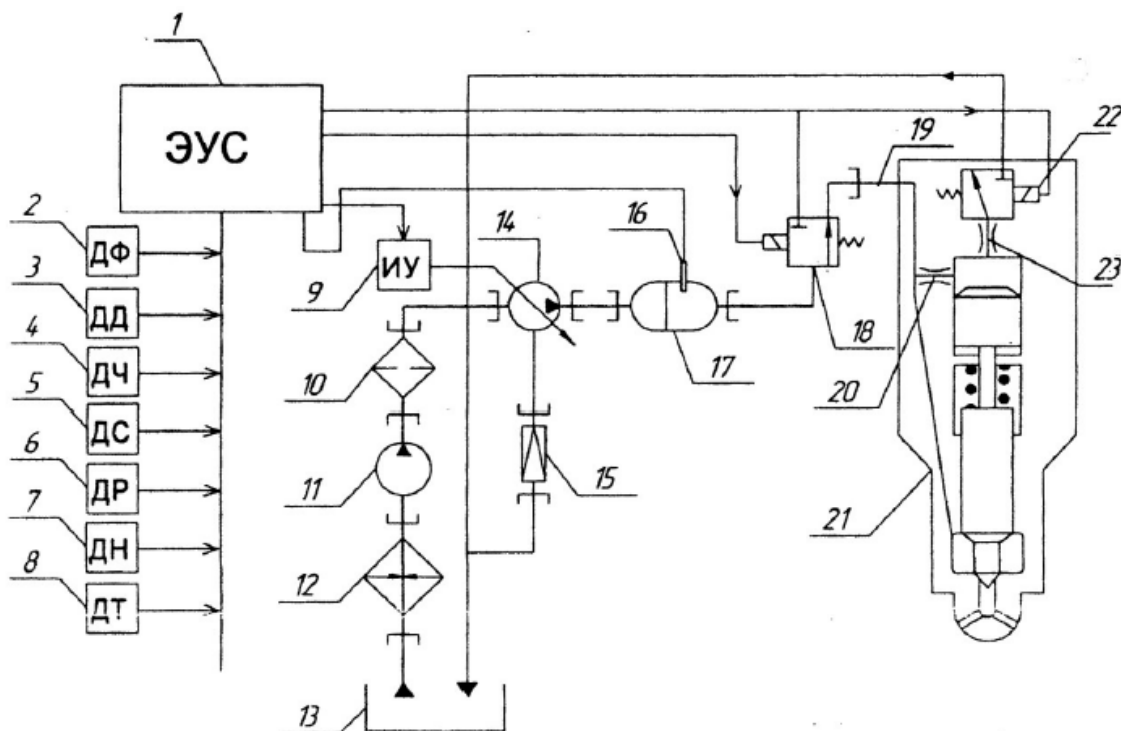


Рисунок 10. Система подачі палива акумуляторного типу

На рисунку 10. використано наступні позначення[14]:

1 – електронний блок керування силовим агрегатом; 2 – датчик фази колінчастого валу (ДФ); 3 – датчик тиску в циліндрі (ДД); 4 – датчик частоти обертання (ДЧ); 5 – датчик складу відпрацьованих газів (ДС); 6 – датчик фази розподільного валу (ДР); 7 – датчик навантаження (ДН); 8 – датчик температури в циліндрі (ДТ); 9 – виконавчий пристрій; 10 – фільтр очистка палива; 11 – паливопідкаючий насос; 12 – підігрівач палива; 13 – паливний бак; 14 – насос високого тиску; 15 – підпірний клапан; 16 – датчик тиску в паливному акумуляторі; 17 – акумулятор палива; 18 – клапан аварійного відключення подачі палива; 19 – паливопровід високого тиску; 20, 23 – паливні дроселі; 21 – паливний інжектор (форсунка); 22 – електромагнітний керуючий клапан [14].

Головною перевагою систем акумуляторного типу є можливість використання необхідного тиску палива, який тепер не залежить від частоти обертання колінчастого валу двигуна, тим самим полегшується оптимізація характеристик впорскування палива на кожному робочому режимі дизеля. Такі системи знаходять все більше застосування на транспортних засобах, до яких ставляться

високі екологічні вимоги, наприклад на громадському транспорті. Однак на двигунах великої агрегатної потужності вони не можуть бути використані [14].

Причинами таких обмежень являється:

- висока складність акумуляторної системи впорскування,
- велика кількість паливопроводів високого тиску знаходяться постійно під тиском до 3000 бар в умовах структурних вібрацій,
- необхідність розміщення на двигуні великої місткості акумулятора, або декількох акумуляторів високого тиску.

При великих циклових подачах палива необхідні ємності для демпфування негативних гідромеханічних хвиль, збільшена затрати на запуск через те, що частина енергії при розкручуванні двигуна витрачається на створення необхідного початкового тиску палива в акумуляторі [14].

У зв'язку з вищевикладеним для двигунів середньої та великої агрегатної потужності, в переважній більшості застосовують системи подачі палива імпульсного дії з інтелектуальним управлінням.

Вибір параметрів системи подачі палива являє собою складну і трудомістку задачу, оскільки в процесі проектування необхідно забезпечити параметри впорскування палива, що задовольняють цілому ряду вимог, досягнення яких, як правило, не можливо без натурних дизельних випробувань. Разом з тим, при розробці систем впорскування палива, вже на стадіях ескізного і технічного проєктів необхідно визначати основні геометричні, гідравлічні та електричні параметри системи, що дозволяють виконати конструктивні вимоги до основних вузлів паливної апаратури і компонування дизеля. Такі параметри на практиці прийнято називати типовими. У всіх трьох вище представлених типах систем подачі палива, найбільш важливі у функціональному плані елементи систем уніфіковані і не мають великих принципових відмінностей. До таких елементів систем відносяться фільтри тонкого і грубого очищення палива, плунжерні пари, інжектори впорскування, паливопроводи високого тисків, зворотні, запобіжні і нагнітальні клапани [14].

					МД.ПІ71мн.20.000.00ПЗ	34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.5 Огляд та аналіз електромагнітів систем паливоподачі

Кожна система паливоподачі, крім уніфікованих елементів, має також лише їй притаманні елементи. Для імпульсної та акумуляторних систем впорскування, такими елементами являються швидкодіючі електромагніти, які складають основу керуючих органів швидкодіючих паливних клапанів. Швидкодіючі електромагніти для двигунів середньої та великої потужності використовуються для:

- інжекторів впорскування для акумуляторних систем паливоподачі;
- електромагнітних клапанів типу E-PPN для насосів високого тиску;
- газових електромагнітних клапанів;
- запобіжні клапани.

Відома європейська фірма HEINZMANN виробляє електромагніти двох типів:

- круглі електромагніти, які мають закриту форму і гарантують легкий монтаж. Круглі електромагніти фірми HEINZMANN доступні в великій кількості розмірів, з різною формою якоря, рис. 11 [15].



Рисунок 11. Круглі електромагніти

- електромагніти з E-подібним сердечником, які мають прямокутну форму. Ці прямокутні електромагніти мають характерний E-подібний сердечник, зібраний з окремих пластин. Особливостями цих електромагнітів є дуже

висока щільність магнітного поля та мінімальна втрата струмів Фуко. Електромагніти з Е-подібним сердечником доступні також у різних розмірах та формах, рис. 12 [15].



Рисунок 12. Електромагніти з Е-подібним сердечником

Нижче приведено технічні характеристики деяких круглих електромагнітів фірми HEINZMANN.

### 1.5.1 Круглі електромагніти серії RM-07

Нижче на рис. 13 показано загальний вигляд електромагніту серії RM-07 [15].



Рисунок 13. Загальний вигляд електромагніту серії RM-07

Технічні характеристики електромагніту серії RM-07 фірми HEINZMANN наступні [15]:

Габаритні розміри	Ø 71 мм x 40 мм
Максимальний робочий зазор	1,1 мм
Залишковий повітряний зазор	0,05 мм
Максимальний струм насичення	15 А
Максимальний струм утримування	10 А
Час насичення	2,5 мс
Магнітне зусилля	650 Н
Діапазон робочих температур	від -40° С до + 130° С
Температура зберігання	від -40° С до + 150° С
Напруга живлення	24В
Степінь захисту	IP 66 К

### 1.5.2 Круглі електромагніти серії RM-08

Нижче на рис. 14 показано загальний вигляд електромагніту серії RM-08 [15].



Рисунок 14. Загальний вигляд електромагніту серії RM-08

Технічні характеристики електромагніту серії RM-08 фірми HEINZMANN наступні [15]:

Габаритні розміри	Ø 41 мм х 22 мм
Максимальний робочий зазор	0,4 мм
Залишковий повітряний зазор	0,05 мм
Максимальний струм насичення	27 А
Максимальний струм утримування	10 А
Час насичення	4,0 мс
Магнітне зусилля	450 Н
Діапазон робочих температур	від -40° С до + 130° С
Температура зберігання	від -40° С до + 150° С
Напруга живлення	24В, 48В або 90В
Степінь захисту	IP 66 К

### 1.5.3 Круглі електромагніти серії RM-10

Нижче на рис. 15 показано загальний вигляд електромагніту серії RM-10 [15].



Рисунок 15. Загальний вигляд електромагніту серії RM-10

Технічні характеристики електромагніту серії RM-10 фірми HEINZMANN наступні [15]:

Габаритні розміри	Ø 19 мм х 15 мм
Максимальний робочий зазор	0,35 мм
Залишковий повітряний зазор	0,05 мм
Максимальний струм насичення	12 А
Максимальний струм утримування	3 А
Час насичення	2,0 мс
Магнітне зусилля	100 Н
Діапазон робочих температур	від -40° С до + 130° С
Температура зберігання	від -40° С до + 150° С
Напруга живлення	24В або 48В
Степінь захисту	IP 66 К

Нижче представлені технічні характеристики електромагнітів з Е-подібним сердечником прямокутної форми типу SM фірми HEINZMANN.

#### 1.5.4 Електромагніт прямокутної форми серії SM-06

Нижче на рис. 16 показано загальний вигляд електромагніту прямокутної форми серії SM-06 [15].



Рисунок 16. Загальний вигляд електромагніту серії SM-06

Технічні характеристики електромагніту серії SM 06 фірми HEINZMANN наступні [15]:

Габаритні розміри	46 мм х 51 мм
Максимальний робочий зазор	0,20 мм
Залишковий повітряний зазор	0,05 мм
Максимальний струм насичення	25 А
Максимальний струм утримування	10 А
Час насичення	4,0 мс
Магнітне зусилля	350 Н
Діапазон робочих температур	від -40° С до + 130° С
Температура зберігання	від -40° С до + 150° С
Напруга живлення	24В
Степінь захисту	IP 66 К

#### 1.5.5 Електромагніт прямокутної форми серії SM-07

Нижче на рис. 17 показано загальний вигляд електромагніту прямокутної форми серії SM-07 [15].



Рисунок 17. Загальний вигляд електромагніту серії SM-07



Технічні характеристики електромагніту серії SM-07 фірми HEINZMANN наступні [15]:

Габаритні розміри	44 x 48 x 56 мм
Максимальний робочий зазор	0,20 мм
Залишковий повітряний зазор	0,05 мм
Максимальний струм насичення	25 А
Максимальний струм утримування	10 А
Час насичення	4,0 мс
Магнітне зусилля	350 Н
Діапазон робочих температур	від -40° С до + 130° С
Температура зберігання	від -40° С до + 150° С
Напруга живлення	24В
Степінь захисту	IP 66 К

#### 1.5.6 Електромагніт прямокутної форми серії SM-08

Нижче на рис. 18 показано загальний вигляд електромагніту прямокутної форми серії SM-08 [15].



Рисунок 18. Загальний вигляд електромагніту серії SM-08

Технічні характеристики електромагніту серії SM-08 фірми HEINZMANN наступні [15]:

Габаритні розміри	Ø 38 x 42 мм
Максимальний робочий зазор	0,20 мм
Залишковий повітряний зазор	0,05 мм
Максимальний струм насичення	25 А
Максимальний струм утримування	10 А
Час насичення	4,0 мс
Магнітне зусилля	300 Н
Діапазон робочих температур	від -40° С до + 130° С
Температура зберігання	від -40° С до + 150° С
Напруга живлення	24В
Степінь захисту	IP 66 К

### Висновок

Відома європейська фірма HEINZMANN виробляє велику кількість електромагнітів. Кожен електромагніт використовується для імпульсних та акумуляторних систем впорскування палива. Для дослідження та теоретичного розрахунку котушки електромагніту, було обрано круглий електромагніт серії RM-08.

## 2. Розрахунок котушки модифікованого електромагніту RM-08А

Електромагнітні котушки бувають як каркасними, так і без каркасними.

У випадку без каркасної конструкції котушки, витки обмотки скріплюються стрічкової або листової ізоляцією, або заливаються компаундом [23].

Нижче, на рисунку 24 представлено габаритні розміри котушки модифікованого електромагніту RM-08А, параметри якої розраховувались та досліджувались на випробувальному стенді:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МД.ПІІ71мн.20.000.00ПЗ
					42

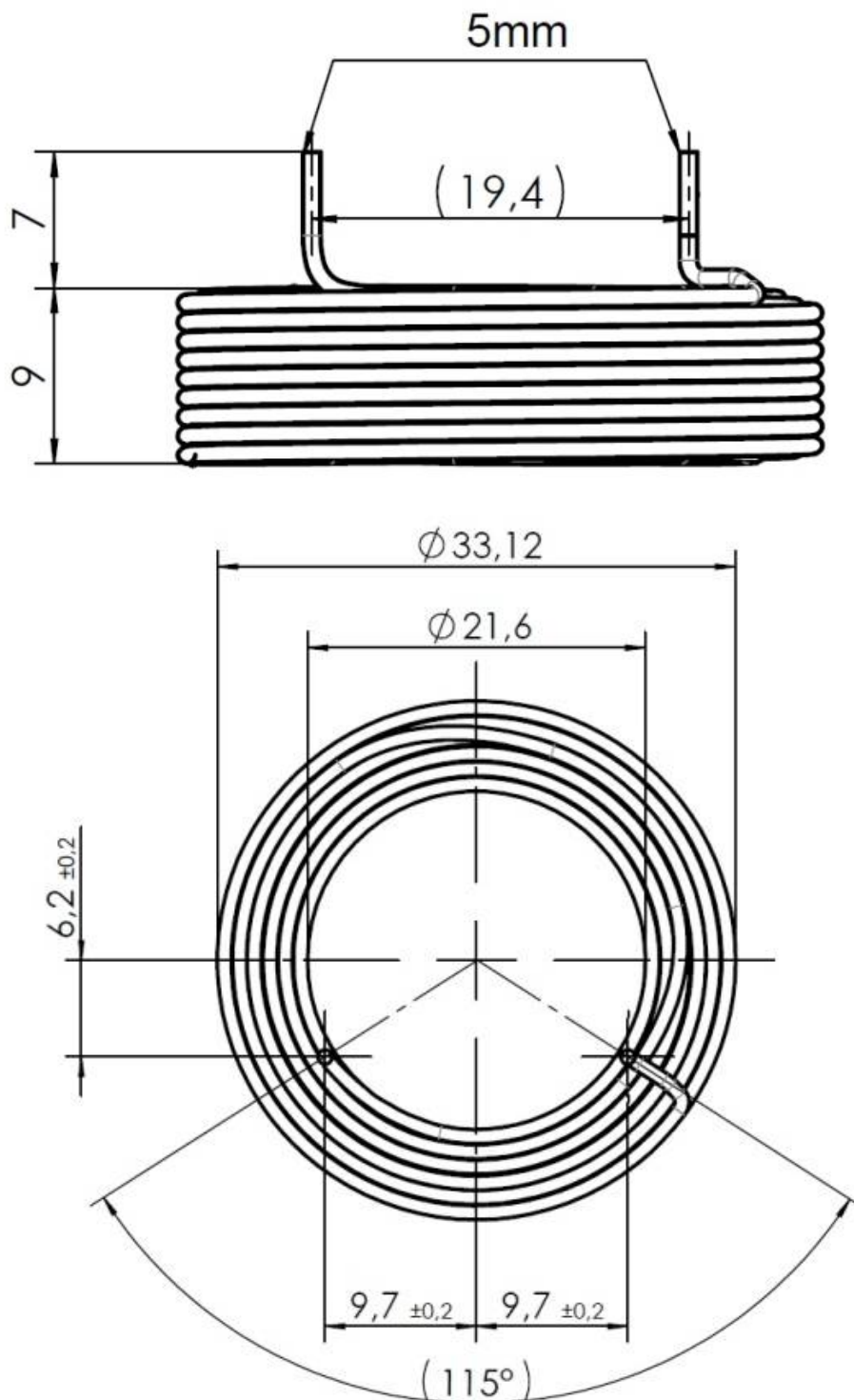


Рисунок 24. Габаритні розміри котушки електромагніту.

Для розрахунку параметрів модифікованої електромагнітної котушки використовувалися наступні вихідні параметри:

- напруга живлення:  $U = 24 \text{ В}$  або  $48 \text{ В}$
- кількість витків обмотки:  $\omega = 53$ ,

- питомий опір міді  $p = 1,75 \times 10^{-8} \text{ Ом} \times \text{м}$ ,
- середня довжина витка  $l_{\text{ср}} = 85,91 \times 10^{-3} \text{ м}$ .
- п'ять діаметрів дроту:  $D_1 = 0,7 \text{ мм}$ ,  $D_2 = 0,8 \text{ мм}$ ,  $D_3 = 0,9 \text{ мм}$ ,  $D_4 = 1,0 \text{ мм}$ ,  $D_5 = 1,1 \text{ мм}$ .

Для розрахунку модифікованої котушки використовуємо методику викладено в [23]:

Магніторушійна сила (МРС), яка виникає в котушці електромагніту, розраховується по наступній формулі:

$$F = \frac{U}{R} \times \omega = \frac{U \times q \times \omega}{p \times l_{\text{ср}} \times \omega} = \frac{U \times q}{p \times l_{\text{ср}}}, (1)$$

З формули (1) визначимо опір обмотки електромагніту:

$$R = \frac{U \times \omega}{F} = \frac{p \times l_{\text{ср}} \times \omega}{q}, (2)$$

Січення намотувального дроту  $q$  знаходимо за формулою:

$$q = \frac{F \times p \times l_{\text{ср}}}{U} = \frac{\pi \times D^2}{4}, (3)$$

де:

- $p$  - питомий опір міді;
- $l_{\text{ср}}$ - середня довжина витка;
- $R$  - опір обмотки,

З приведених вище формул для розрахунку котушки електромагніту впливає, що при незмінній середній довжині витка  $l_{\text{ср}}$  і заданому питомому опорі матеріалу  $p$ , магніторушійну силу (МРС) можна визначити за спрощеною формулою:  $F = U \times q$ .

**Розрахунок котушки для діаметру дроту  $D_1 = 0,7 \text{ мм}$ .**

Поперечне січення намотувального дроту визначаємо за формулою (3) :

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МД.ПІІ71мн.20.000.00ПЗ
					44

$$q_1 = \frac{3,14 \times 0,7^2 \times 10^{-6}}{4} = 0,38465 \times 10^{-6} \text{ мм}^2. (4)$$

Опір обмотки електромагніту розраховуємо за формулою (2):

$$R_1 = \frac{1,75 \times 10^{-8} \times 85,91 \times 10^{-3} \times 53}{0,38465 \times 10^{-6}} = 207 \times 10^{-3} \text{ Ом}, (5)$$

МРС розраховуємо по формулі (1) [23]:

$$F_1 = \frac{24 \times 53}{207 \times 10^{-3}} = 6145 \text{ А} - \text{w}. (6)$$

Отже котушка з діаметром дроту **0,7 мм** матиме магніторушійну силу:

$$F_1 = 6145 \text{ А-w}$$

**Проведемо розрахунок котушки для діаметру дроту  $D_2 = 0,8 \text{ мм}$ .**

Поперечне січення намотувального дроту визначаємо за формулою (3):

$$q_2 = \frac{3,14 \times 0,8^2 \times 10^{-6}}{4} = 0,5024 \times 10^{-6} \text{ мм}^2. (7)$$

Опір обмотки електромагніту розраховуємо за формулою (2):

$$R_2 = \frac{1,75 \times 10^{-8} \times 85,91 \times 10^{-3} \times 53}{0,5024 \times 10^{-6}} = 159 \times 10^{-3} \text{ Ом}, (8)$$

МРС розраховуємо по формулі (1):

$$F_2 = \frac{24 \times 53}{159 \times 10^{-3}} = 8000 \text{ А} - \text{w}. (9)$$

Отже котушка з діаметром дроту **0,8 мм** матиме магніторушійну силу:

$$F_2 = 8000 \text{ А-w}$$

**Проведемо розрахунок котушки для діаметру дроту  $D_3 = 0,9 \text{ мм}$ .**

Поперечне січення намотувального дроту визначаємо за формулою (3):

$$q_3 = \frac{3,14 \times 0,9^2 \times 10^{-6}}{4} = 0,63585 \times 10^{-6} \text{ мм}^2 (10)$$

Опір обмотки електромагніту розраховуємо за формулою (2):

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МД.ПІІ71мн.20.000.00ПЗ
					45

$$R_3 = \frac{1,75 \times 10^{-8} \times 85,91 \times 10^{-3} \times 53}{0,63585 \times 10^{-6}} = 125 \times 10^{-3} \text{ Ом}, (11)$$

МРС розраховуємо по формулі (1):

$$F_3 = \frac{24 \times 53}{125 \times 10^{-3}} = 10176 \text{ А-в}. (12)$$

Отже котушка з діаметром дроту **0,9 мм** матиме магніторушійну силу:

$$F_3 = \mathbf{10176 \text{ А-в}}$$

**Проведемо розрахунок котушки для діаметру дроту  $D_4 = 1,0 \text{ мм}$ .**

Поперечне січення намотувального дроту визначаємо за формулою (3):

$$q_4 = \frac{3,14 \times 1,0^2 \times 10^{-6}}{4} = 0,785 \times 10^{-6} \text{ мм}^2. (13)$$

Опір обмотки електромагніту розраховуємо за формулою (2):

$$R_4 = \frac{1,75 \times 10^{-8} \times 85,91 \times 10^{-3} \times 53}{0,785 \times 10^{-6}} = 102 \times 10^{-3} \text{ Ом}, (14)$$

МРС розраховуємо по формулі (1):

$$F_4 = \frac{24 \times 53}{102 \times 10^{-3}} = \mathbf{12471 \text{ А-в}} (15)$$

Отже котушка з діаметром дроту **1,0 мм** матиме магніторушійну силу:

$$F_4 = \mathbf{12471 \text{ А-в}}$$

**Проведемо розрахунок котушки для діаметру дроту  $D_5 = 1,1 \text{ мм}$ .**

Поперечне січення намотувального дроту визначаємо за формулою (3):

$$q_5 = \frac{3,14 \times 1,1^2 \times 10^{-6}}{4} = 0,94985 \times 10^{-6} \text{ мм}^2. (16)$$

Опір обмотки електромагніту розраховуємо за формулою (2):

$$R_5 = \frac{1,75 \times 10^{-8} \times 85,91 \times 10^{-3} \times 53}{0,94985 \times 10^{-6}} = 84 \times 10^{-3} \text{ Ом}, (17)$$

МРС розраховуємо по формулі (1):

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МД.ПІІ71мн.20.000.00ПЗ
					46

$$F_5 = \frac{24 \times 53}{84 \times 10^{-3}} = 15142 \text{ A-w. (18)}$$

Отже котушка з діаметром дроту **1,1 мм** матиме магніторушійну силу:

$$F_5 = \mathbf{15142} \text{ A-w.}$$

Проведені розрахунки заносимо в таблицю 1:

Табл. 1

№	Діаметр провoda D, мм	Опір R, мОм	МРС F, A-w
1	0,7	207	6145
2	0,8	159	8000
3	0,9	125	10176
4	1	102	12471
5	1,1	84	15142

На основі проведених розрахунків в середовищі Microsoft Excel було побудовані графік залежності магніторушійної сили від діаметра провoda, та графік залежності магніторушійної сили від опору обмотки.

Графік залежності магніторушійної сили від діаметра провoda приведено нижче на рис. 25.

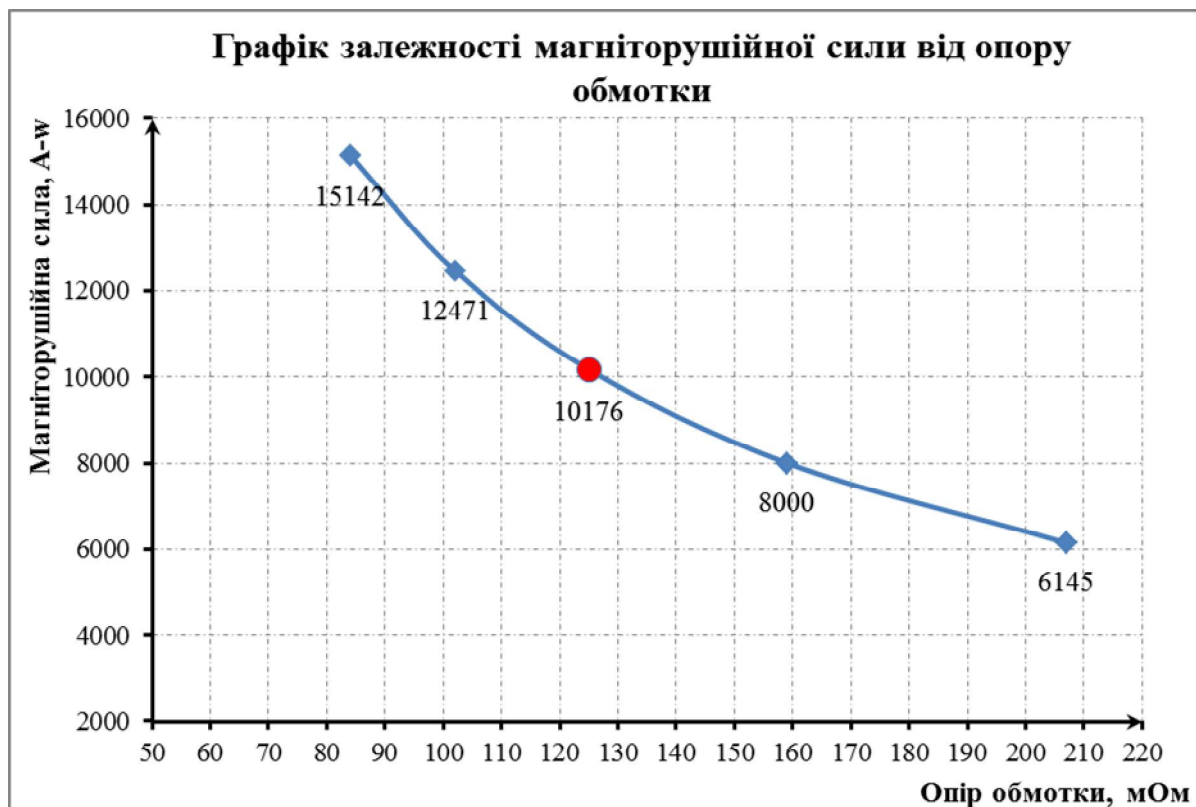


Рисунок 25. Графік залежності діаметра провoda від магніторушійної сили

Аналізуючи графік бачимо, що при збільшенні опору обмотки електромагніту, магніторушійна сила спадає. Тобто зростання МРС обернено пропорційна зростанню опору обмотки.

Мінімальна магніторушійна сила згідно проведених розрахунків становить  $F_{\text{МРС}} = 6145 \text{ А}\cdot\text{в}$  при опорі обмотки електромагніту  $R = 207 \times 10^{-3} \text{ Ом}$ . Максимальна магніторушійна сила становить  $F_{\text{МРС}} = 15142 \text{ А}\cdot\text{в}$  при опорі обмотки електромагніту  $R = 84 \times 10^{-3} \text{ Ом}$ .

Нижче на рис. 26. приведено графік залежності магніторушійної сили від опору обмотки.

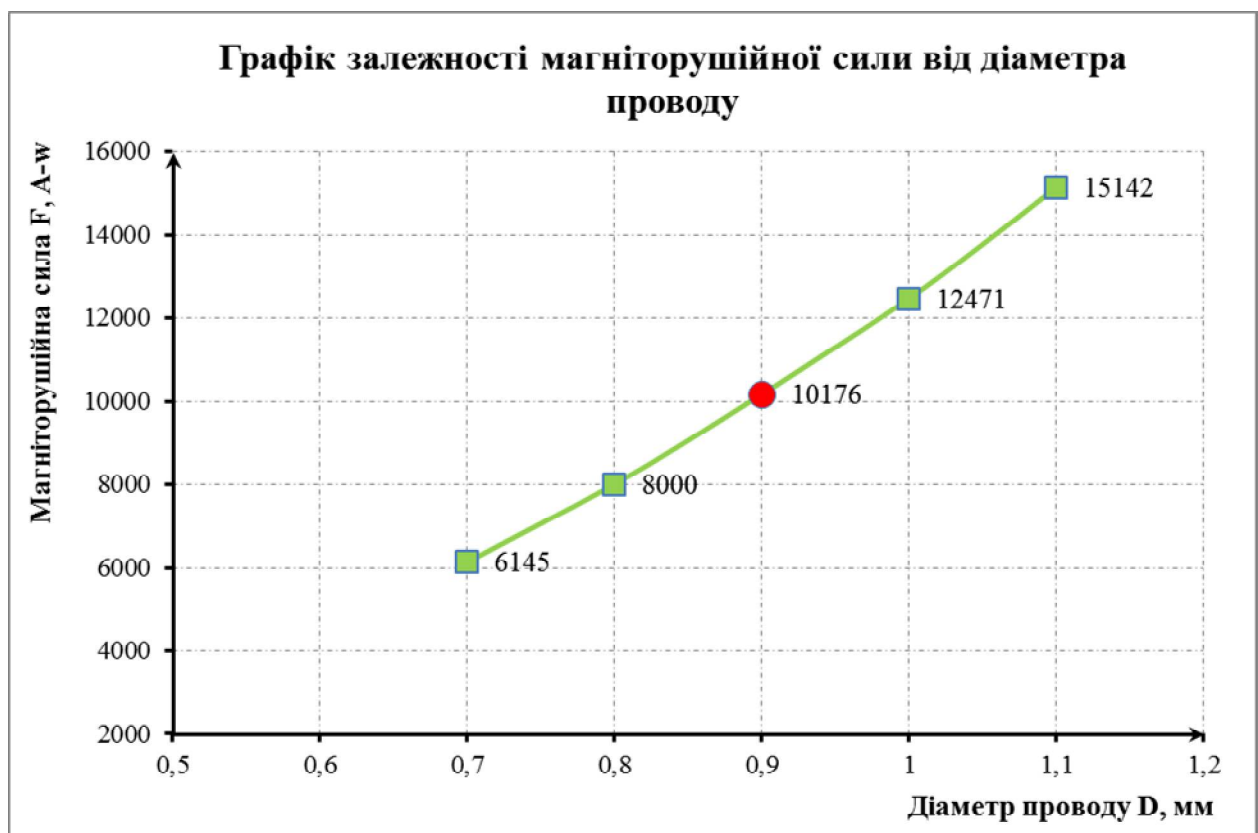


Рис. 26. Графік залежності магніторушійної сили від опору обмотки.

При збільшенні діаметра проводу електромагніту, магніторушійна сила зростає. Тобто зростання магніторушійної сили прямо пропорційна збільшенню діаметру проводу обмотки електромагніту.

Мінімальна магніторушійна сила згідно проведених розрахунків становить  $F_{\text{МРС}} = 6145 \text{ А}\cdot\text{в}$  при діаметрі проводу електромагніту  $D = 0,7 \text{ мм}$ . Максимальна



магніторушійна сила становить  $F_{MPC} = 15142$  А-м при діаметрі проводу електромагніту  $D = 1,1$  мм.

Провівши аналіз розрахунків електромагніту, приходимо до висновку, що для досягнення необхідної для магніту RM-08 магніторушійної сили  $F_{MPC} = 10500 \pm 300$  А-м, оптимальним значеннями являється діаметр проводу  $D = 0,9$  мм. При необхідній кількості витків котушки електромагніту  $\omega = 53$ , опір котушки складає  $R = 125 \times 10^{-3}$  Ом. Для виготовлення котушки використовується мідний провід з питомим опором  $p = 1,75 \times 10^{-8}$  Ом  $\times$  м.

Якщо при постійній напрузі живлення котушки і середній довжині витка потрібно збільшити MPC, то необхідно взяти провід більшого перерізу. При цьому обмотка матиме менше витків. Струм в обмотці зросте, тому що опір її зменшиться за рахунок зменшення числа витків і збільшення перетину дроту [23].

Потужність, що виділяється в обмотці у вигляді тепла, визначається наступною формулою [23]:

$$P = \frac{U^2}{R}. (19)$$

Число витків обмотки при заданому перетині котушки  $Q_{об}$  визначається коефіцієнтом заповнення по міді [23]:

$$f_m = \frac{\omega \times q}{Q_{об}}. (20)$$

де:

- $\omega \times q$  - площа, яку займає міддю обмотки;
- $Q_{об}$  - перетин обмотки по міді.

Тоді число витків котушки визначаємо за формулою [23]:

$$\omega = \frac{f_m Q_{об}}{q}. (21)$$

Потужність, споживана котушкою, визначиться наступною формулою [23]

$$P = \frac{U^2 \times q^2}{p \times l_{\text{ср}} \times f_m \times Q_{\text{об}}} = F^2 \times \frac{p \times l_{\text{ср}}}{f_m \times Q_{\text{об}}}. (22)$$

Для розрахунку обмотки струму вихідними параметрами є МРС і сила струму **у витку**  $I_{\text{вит}}$ . Число витків обмотки знаходиться з виразу  $\omega = \frac{F}{I_{\text{вит}}}$ . Січення дроту для котушки вибираємо виходячи з рекомендованої щільності струму, яка дорівнює [24]:

- $j = 2...4 \text{ А/мм}^2$  для тривалого режиму роботи,
- $j = 5...12 \text{ А/мм}^2$  для повторно-короткочасного режиму роботи,
- $j = 13...30 \text{ А/мм}^2$  для короткочасного режиму роботи [24].

Ці значення можна збільшити приблизно в 2 рази, якщо термін служби обмотки і електромагніту не перевищує 500 годин. Для нашого випадку термін служби має бути не менше 20000 годин. Для електромагнітів Е-PPN клапанів підходить короткочасний режим роботи, для якого щільність струму  $j$  лежить в діапазоні від 13 до 30 А/мм<sup>2</sup>.

Площа вікна, яку займає котушка електромагніту, визначається числом витків  $\omega$  і діаметром дроту  $D$  та розраховується за формулою:

$$Q_{\text{об}} = \frac{\omega \times \pi \times D^2}{4 \times f_m}. (23)$$

Розрахувавши площу, що займаного рядовою обмоткою  $Q_{\text{об}}$ , можна визначити середню довжину витка, кількість витків, опір обмотки і теплові витрати в ній. Після цього можна провести оцінку нагрівання обмотки.

## 2.1 Розрахунок щільності струму залежності від діаметру проводу

Для оцінки нагрівання модифікованої котушки електромагніту RM-08A проведемо розрахунок залежності щільності струму від діаметру проводу.

Діаметр обмотки проводу електромагніту  $D_1 = 0,7 \text{ мм}$ .

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МД.ПІІ71мн.20.000.00ПЗ
					50

Розрахуємо площу вікна, займаного рядовою обмоткою для діаметра обмотки провoda електромагніту  $D_1 = 0,7$  мм, коефіцієнт заповнення по міді становить  $f_m = 0,45$  по формулі [24,25]:

$$Q_{об1} = \frac{53 \times 3,14 \times 0,7^2 \times 10^{-6}}{4 \times 0,45} = 45,3 \times 10^{-6} \text{ м}^2. \quad (24)$$

Щільність струму для провoda електромагніту  $D_1 = 0,7$  мм розраховуємо за наступною формулою [24,25]:

$$j = \frac{I}{Q_{об}} = \frac{4 \times I}{\pi \times D^2}. \quad (25)$$

Мінімальний струм в обмотці електромагніту становить  $I = 6$  А, тоді щільність струму становить:

$$j = \frac{4 \times 6}{3,14 \times 0,7^2} = 16 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}. \quad (26)$$

Максимальний струм в обмотці електромагніту становить  $I = 12$  А, тоді щільність струму становить:

$$j = \frac{4 \times 12}{3,14 \times 0,7^2} = 31 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}. \quad (27)$$

Отже при зміні струму від 6 до 12 А, щільність струму  $j$  змінюється в діапазоні від 16 до 31 А/мм<sup>2</sup> при допустимому значенні  $j$  від 13 до 30 А/мм<sup>2</sup> для короткочасного режиму роботи. Отже для діаметру дроту 0,7 мм, щоб не перевищувати максимально допустиме значення щільності струму в 30 А/мм<sup>2</sup>, струм в обмотці електромагніту не повинен перевищувати 11,5 А.

Діаметр обмотки провoda електромагніту  $D_2 = 0,8$  мм.

Розрахуємо площу вікна, займаного рядовою обмоткою для діаметра обмотки провoda електромагніту  $D_2 = 0,8$  мм, коефіцієнт заповнення по міді становить  $f_m = 0,45$  по формулі: [24, 25]:

$$Q_{об2} = \frac{53 \times 3,14 \times 0,8^2 \times 10^{-6}}{4 \times 0,45} = 59,2 \times 10^{-6} \text{ м}^2. \quad (28)$$

Щільність струму для провoda електромагніту  $D_2 = 0,8$  мм розраховуємо за наступною формулою [24]:

$$j = \frac{I}{q_{об}} = \frac{4 \times I}{\pi \times D^2}. \quad (29)$$

Мінімальний струм в обмотці електромагніту становить  $I = 6$  А, тоді щільність струму становить:

$$j = \frac{4 \times 6}{3,14 \times 0,8^2} = 12 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}. \quad (30)$$

Максимальний струм в обмотці електромагніту становить  $I = 12$  А, тоді щільність струму становить:

$$j = \frac{4 \times 12}{3,14 \times 0,8^2} = 24 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}. \quad (31)$$

Отже при зміні струму від 6 до 12 А, щільність струму  $j$  змінюється в діапазоні від 12 до  $24 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ , при допустимому значенні  $j$  від 13 до  $30 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$  для короткочасного режиму роботи.

Діаметр обмотки провoda електромагніту  $D_3 = 0,9$  мм.

Розраховуємо площу вікна, займаного рядовою обмоткою для діаметра обмотки провoda електромагніту  $D_3 = 0,9$  мм, коефіцієнт заповнення по міді становить  $f_m = 0,45$  по формулі [24,25]:

$$Q_{обз} = \frac{53 \times 3,14 \times 0,9^2 \times 10^{-6}}{4 \times 0,45} = 74,889 \times 10^{-6} \text{ м}^2. \quad (32)$$

Щільність струму для провoda електромагніту  $D_3 = 0,9$  мм розраховуємо за наступною формулою [24]:

$$j = \frac{I}{q_{об}} = \frac{4 \times I}{\pi \times D^2}. \quad (33)$$

Мінімальний струм в обмотці електромагніту становить  $I = 6$  А, тоді щільність струму становить:

$$j = \frac{4 \times 6}{3,14 \times 0,9^2} = 10 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}. \quad (34)$$

Максимальний струм в обмотці електромагніту становить  $I = 12$  А, тоді щільність струму становить:

$$j = \frac{4 \times 12}{3,14 \times 0,9^2} = 19 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}. (35)$$

Отже при зміні струму від 6 до 12 А, щільність струму  $j$  змінюється в діапазоні від **10** до 19 А/мм<sup>2</sup> при допустимому значенні  $j$  від 13 до 30 А/мм<sup>2</sup> для короткочасного режиму роботи.

Діаметр обмотки проводу електромагніту  $D_4 = 1,0$  мм.

Розрахуємо площу вікна, займаного рядовою обмоткою для діаметра обмотки проводу електромагніту  $D_4 = 1,0$  мм, коефіцієнт заповнення по міді становить  $f_m = 0,45$  по формулі [24,25]:

$$Q_{об4} = \frac{53 \times 3,14 \times 1,0^2 \times 10^{-6}}{4 \times 0,45} = 92,5 \times 10^{-6} \text{ м}^2. (36)$$

Щільність струму для проводу електромагніту  $D_4 = 1,0$  мм розраховуємо за наступною формулою [24]:

$$j = \frac{I}{q_{об}} = \frac{4 \times I}{\pi \times D^2}. (37)$$

Мінімальний струм в обмотці електромагніту становить  $I = 6$  А, тоді щільність струму становить:

$$j = \frac{4 \times 6}{3,14 \times 1,0^2} = 8 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}. (38)$$

Максимальний струм в обмотці електромагніту становить  $I = 12$  А, тоді щільність струму становить:

$$j = \frac{4 \times 12}{3,14 \times 1,0^2} = 15 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}. (39)$$

Отже при зміні струму від 6 до 12 А, щільність струму  $j$  змінюється в діапазоні від **8** до 12 А/мм<sup>2</sup> при допустимому значенні  $j$  від 13 до 30 А/мм<sup>2</sup> для короткочасного режиму роботи.

Діаметр обмотки проводу електромагніту  $D_5 = 1,1$  мм.

Розрахуємо площу вікна, займаного рядовою обмоткою для діаметра обмотки проводу електромагніту  $D_5 = 1,1$  мм, коефіцієнт заповнення по міді становить  $f_m = 0,45$  формулі [24]:

$$Q_{об\ 5} = \frac{53 \times 3,14 \times 1,1^2 \times 10^{-6}}{4 \times 0,45} = 101,7 \times 10^{-6} \text{ м}^2. (40)$$

Мінімальний струм в обмотці електромагніту становить  $I = 6 \text{ А}$ , тоді щільність струму становить [24]:

$$j = \frac{4 \times 6}{3,14 \times 1,1^2} = 7 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} (41)$$

Максимальний струм в обмотці електромагніту становить  $I = 12 \text{ А}$ , тоді щільність струму становить [24]:

$$j = \frac{4 \times 12}{3,14 \times 1,1^2} = 13 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}. (42)$$

Отже при зміні струму від 6 до 12 А, щільність струму  $j$  змінюється в діапазоні від 7 до 13 А/мм<sup>2</sup> при допустимому значенні  $j$  від 13 до 30 А/мм<sup>2</sup> для короткочасного режиму роботи.

Нижче на рис. 27 приведена діаграма залежності щільності струму від діаметра провoda для струму 6 А та 12 А.

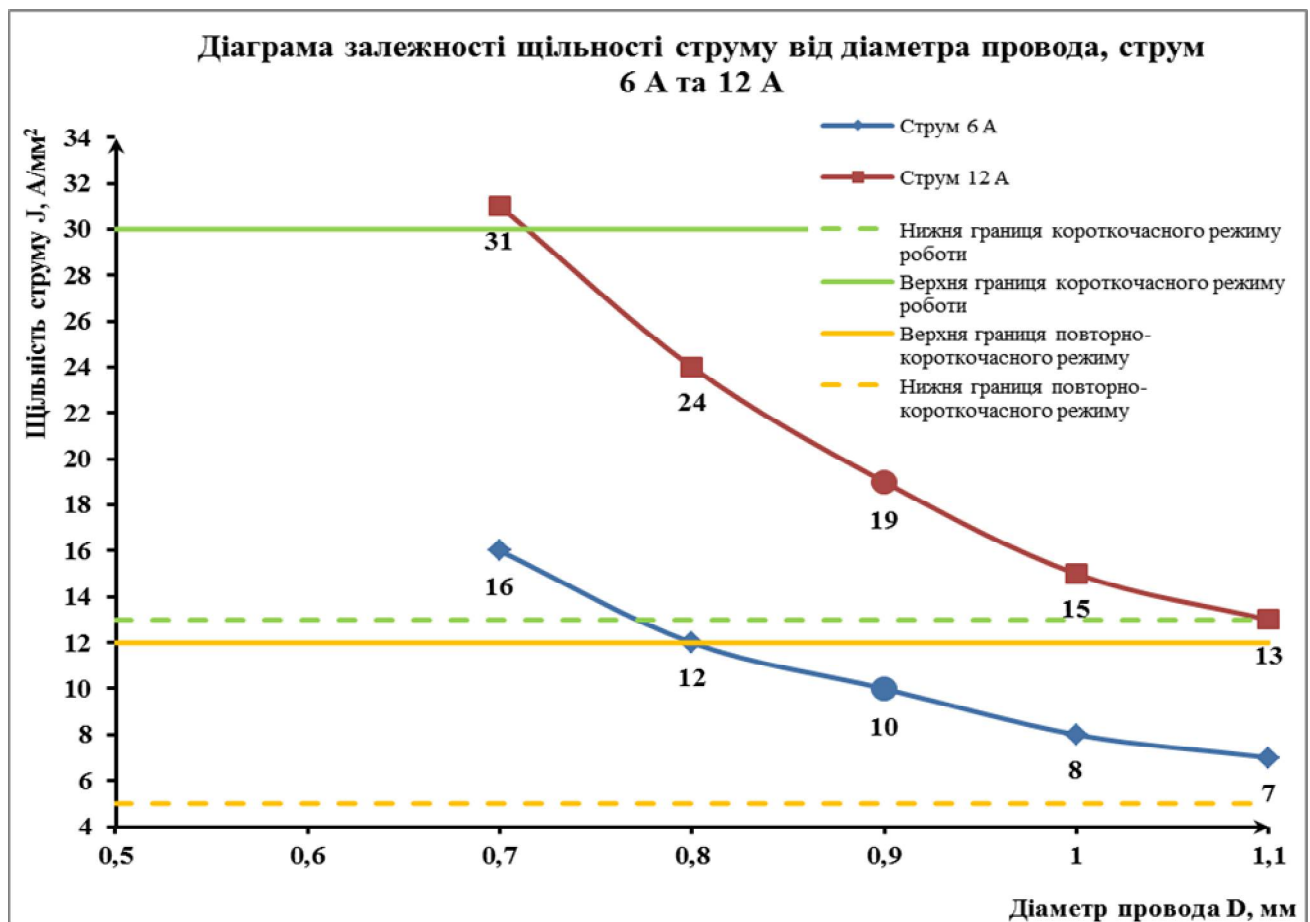


Рисунок 27. Діаграма залежності щільності струму від діаметра провoda для струму 6 А та 12 А.

Аналізуючи діаграму залежності щільності струму від діаметра проводу бачимо, що оптимальним значенням для модифікованого електромагніту RM-08A являється діаметр проводу  $D = 0,9$  мм. При струмі насичення котушки електромагніту 12 А, щільність струму складає  $19 \text{ А/мм}^2$  що відповідає короткочасному режиму роботи, а при струмі утримання 6 А, щільність струму складає  $10 \text{ А/мм}^2$  та попадає в зону повторно-короткочасного режиму роботи. При цьому досягається необхідна магніторушійна сила 10176 А·в. Проведений розрахунок показує, що прогнозований термін служби роботи модифікованого електромагніту RM-08A становитиме не менше 20000 годин.

Використання проводу 0,7 мм не забезпечить необхідний термін служби роботи електромагніту, так як при струмі насичення 12 А, щільність струму  $31 \text{ А/мм}^2$  виходить за допустимі межі короткочасного режиму роботи.

### 3.Розрахунок зворотної пружини

В електромагнітному паливному клапані серії Е-PPN, крім електромагніту використовується зворотна пружина. Яка виконує функцію закриття паливного затвору при знеструмленні електромагніту, а також перекриття подачі палива на форсунку в аварійному режимі. Необхідне зусилля та хід пружини визнається технічними вимогами до параметрів паливо подачі, а саме максимальним тиском впорскування палива, максимальною цикловою подачею, типом та густиною палива, та іншими параметрами. Для паливного клапану серії Е-PPN, з електромагнітом RM-08A, який повинен забезпечити максимальний тиск впорскування палива 1600 бар, необхідно спроектувати зворотну пружину виходячи із наступних початкових параметрів:

- Сила пружини при початковій деформації  $P_{1 \text{ пруж}} = 94 \text{ Н}$ ;
- Сила пружини при робочій деформації  $P_{2 \text{ пруж}} = 97 \text{ Н}$ ;
- Хід пружини  $h = 0,2 \text{ мм}$ ;
- Витривалість циклів пружини  $N = 5 \times 10^6$ ;
- Зовнішній діаметр пружини  $D_{\text{пруж}} = 12,6 \pm 0,3 \text{ мм}$ ;

					МД.ПІ71мн.20.000.00ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

- Швидкість пружини  $v = 4$  м/с.

Для розрахунку обираємо пружину з піджатими і шліфованими крайніми витками, рис 28 [22].

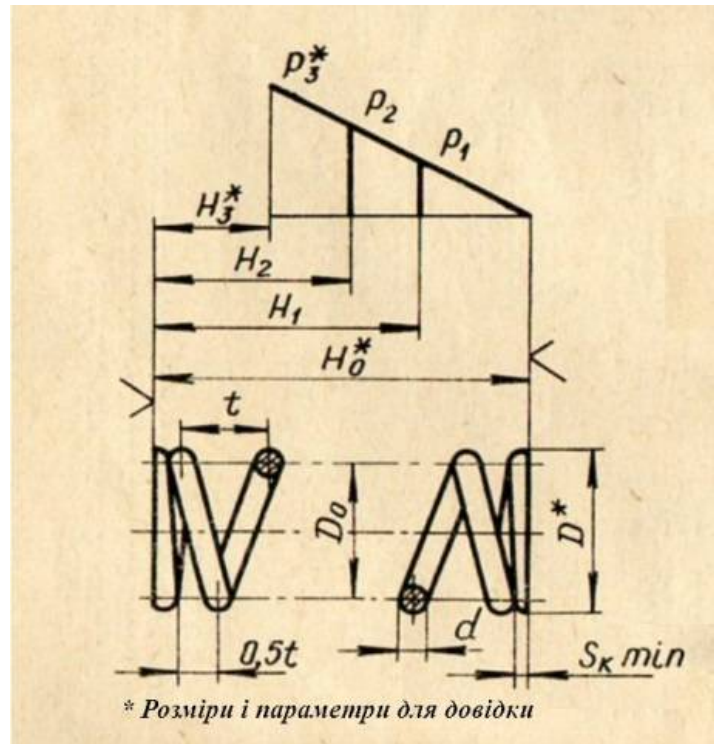


Рисунок 28. Пружина з піджатими і шліфованими крайніми витками.

Використовуючи інтервал значень  $\delta_{\text{інерц. зазор}}$  (відносний інерційний зазор пружини стиску) в діапазоні від 0,05 мм до 0,25 мм знаходимо силу  $P_{\text{з пруж.}}$ .

$$P_{\text{з пруж.}} = \frac{P_{\text{2 пруж}}}{1 - 0,05} \dots \frac{P_{\text{2 пруж}}}{1 - 0,25} = 10,22 \dots 12,94 \text{ кгс} \quad (43)$$

В інтервалі значень  $P_{\text{з}}$  в діапазоні значень від **10,22 ... 12,94 кгс** та заданих розмірів пружини в табл. 5 обираємо пружину номер 506, II класу, розряд 1 згідно ОСТ 37.001.199-77.

- Сила пружини при максимальній деформації  $P_{\text{з пруж}} = 125 \text{ Н}$ ;
- Діаметр дроту  $d_{\text{пруж}} = 1,6 \text{ мм}$ ;
- Зовнішній діаметр  $D_{\text{пруж}} = 13 \text{ мм}$ ;
- Жорсткість одного витка  $z_1 = 44,24 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$ ;



- Максимальна деформація одного витка  $f_3 = 2,826 \text{ мм}$ .

Для пружин II класу  $\tau_3 = 0,5 \times \sigma_B$ .

Згідно ГОСТ 9389-75 для пружини II класу  $\sigma_B = 1800 \text{ МПа}$ .

Розраховуємо напруження для даного діаметра дроту:

$$\tau_3 = 0,5 \times 180 = 900 \text{ МПа}. \quad (44)$$

Належність до II класу пружини, перевіряємо шляхом відношенням  $\frac{V_0}{V_{кр}}$ , для цього розраховуємо критичну швидкість по формулі (45):

$$V_{кр} = \frac{\tau_3 \times \delta}{3,58}.$$

Інерційний зазор розраховуємо по формулі:

$$\delta_{\text{інерц.заяор}} = 1 - \frac{P_2}{P_3} = 1 - \frac{97}{125} = 0,71 < 1, \quad (46)$$

Оптимальна рівність показує на відсутність співударів витків, отже вибрана пружина II класу відповідає заданим умовам.

Знаходимо критичну швидкість по формулі:

$$V_{кр} = \frac{90 \times (1 - \frac{97}{125})}{3,58} = 5,63 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (47)$$

Допустиме значення для пружини другого класу  $V_{кр.мах} = 9,43 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

Жорсткість пружини  $z$  знаходимо по формулі:

$$z = \frac{P_{2 \text{ пруж}} - P_{1 \text{ пруж}}}{h} = \frac{97 - 94}{0,2} = 15 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}. \quad (48)$$

Число робочих витків  $n$  пружини знаходимо по формулі:

$$n = \frac{z_1}{z} = \frac{44,24}{15} = 2,95 \approx 3. \quad (49)$$

Уточнену жорсткість  $z$  знаходимо по формулі:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МД.ПІ71мн.20.000.00ПЗ
					57

$$z = \frac{z_1}{n} = \frac{44,24}{3} = 14,7 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}. \quad (50)$$

При півтора неробочих витках, повне число витків знаходимо за формулою:

$$n_1 = n + n_2 = 3 + 1,5 = 4,5. \quad (51)$$

Середній діаметр пружини  $D_0$  знаходимо за формулою:

$$D_0 = D_{\text{пруж}} - d_{\text{пруж}} = 13 - 1,6 = 11,4 \text{ мм}. \quad (52)$$

Деформацію пружини розраховуємо по формулі:

$$F_1 = \frac{P_1 \text{ пруж}}{z} = \frac{9,4}{1,5} = 6,27 \text{ мм}. \quad (53)$$

Робочу деформацію пружини  $F_2$  розраховуємо по формулі:

$$F_2 = \frac{P_2 \text{ пруж}}{z} = \frac{9,7}{1,5} = 6,47 \text{ мм}. \quad (54)$$

Максимальну деформацію пружини  $F_3$  розраховуємо по формулі:

$$F_3 = \frac{P_3 \text{ пруж}}{z} = \frac{12,5}{1,5} = 8,33 \text{ мм}. \quad (55)$$

Висоту пружини  $H_3$  при максимальній деформації розраховуємо по формулі:

$$H_3 = (n_1 + 1 - n_2) \times d = (4,5 + 1 - 1,5) \times 1,6 = 6,4 \text{ мм}. \quad (56)$$

Висоту пружини  $H_0$  в вільному стані розраховуємо по формулі:

$$H_0 = H_3 + F_3 = 6,4 + 8,33 = 14,73 \text{ мм}. \quad (57)$$

Висоту пружини  $H_1$  в попередній деформації розраховуємо по формулі:

$$H_1 = H_0 + F_1 = 14,73 - 6,27 = 8,46 \text{ мм}. \quad (58)$$

Висоту пружини  $H_2$  при робочій деформації розраховуємо по формулі:

$$H_2 = H_0 + F_2 = 14,73 - 6,47 = 8,26 \text{ мм}. \quad (59)$$

Крок пружини  $t$  розраховуємо по формулі:

$$t = f_3 + d = 2,826 + 1,6 = 4,426 \text{ мм}. \quad (60)$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МД.ПІІ71мн.20.000.00ПЗ
					58

#### 4. Вибір вимірювальної апаратури

Випробувальний стенд для тестування електромагніту для системи Е-PPN складається з наступних елементів:

##### Блок живлення MR3005D-3, фірми «Masteram»

Нижче на рисунку 19 приведено загальний вигляд блоку живлення.



Рисунок 19. Блок живлення серії MR3005D-3 фірми Masteram

Технічні характеристики блоку живлення MR3005D-3 наступні [16]:

Тип блоку живлення	трансформаторний
Кількість каналів	трьохканальний
Вхідна нпруга живлення	220 В ± 10 %
Макс. вихідна напруга	30 В DC
Макс. струм навантаження	30 А
Амплітуда коливань по струму	≤ 3 мА
Амплітуда коливань по напрузі	≤ 0,5 мВ
Габарити блоку	365 × 265 × 164, мм
Вага	10,150 кг

Блок живлення виконує наступні основні функції [16]:

- видача стабілізованої постійної напруги живлення,
- регулювання необхідного струму навантаження

- індикація вихідних параметрів,
- контроль та захист підключених електронних пристроїв та схем.

Блок живлення серії MR3005D-3 фірми «Masteram» відповідає класу точності 2,0.

Відносна похибка блоку живлення MR3005D-3 становить:  $\pm 2\%$ .

$$\delta_{\text{блоку живлення}} = \pm 2 \%$$

### Електронний блок управління MVC 01-24

Електронний блок управління MVC 01-24 відноситься до найсучаснішої генерації контролерів фірми HEINZMANN серії DARDANOS третього покоління, який застосовується в системах електронного впорскування палива (ЕВП) дизельних та газових двигунів різноманітного промислового та стаціонарного застосування [17].



Рисунок 20. Електронний блок управління MVC 01-24

Електронний блок MVC 01-24 працює з двигунами до 24 циліндрів. і сумісний з будь-якою електронною системою впорскування палива на базі електромагнітного клапана, основним елементом якої є електромагніт. Електронний блок управління MVC 01-24 зображено на рис. 20 [17].

Технічні характеристики електронного блоку управління MVC 01-24 наступні [17]:

Робоча напруга живлення	24 В
Мінімальна напруга живлення	18 В
Максимальна напруга живлення	33 В
Залишкова пульсація напруги живлення	макс. 10% на 100 Гц
Споживання струму	максимум 1,5А / циліндр
Вологість середовища	< 95 % при 55 °С
Діапазон робочих температур	від -40° С до + 80° С
Степінь захисту	IP6K9K
Допустимий рівень вібрацій	15 g в діапазоні від 65 до 2000 Гц;
Удар	30 g, 11 мс пів. Синусоїда
Опір ізоляції	більше 1 МОм, при 48 В пост.

Електронний блок управління MVC 01 24 серії DARDANOS третього покоління відповідає класу точності 0,05.

Відносна похибка для електронного блоку управління MVC 01-24 становить

$$\delta_{\text{блок.управл}} = \pm 0,05 \% .$$

### Прилад серії 5015 фірми Kistler для вимірювання зусилля

Це універсальний прилад для вимірювання сили який зчитує сигнал з п'єзоелектричного датчика сили встановленого у вимірювальній системі [18].

Прилад для вимірювання сили, фірми Kistler зображено на рис. 21.



Рисунок 21. Прилад для вимірювання сили, серії 5015 фірми Kistler

Технічні характеристики приладу для вимірювання зусилля, фірми Kistler наступні [18]:

Діапазон вимірювання сигналу в діапазоні від 2 до 2200000 pC

Невизначеність вимірювань приладу [18]:

1. Повний діапазон сигналу  $< 100$  pC Похибка до  $\pm 1$  %
2. Повний діапазон сигналу  $\geq 100$  pC Похибка до  $\pm 0,5$  %

Відхилення в режим вимірювання постійної напруги DC [18]:

1. При температурі  $25^{\circ}\text{C}$ , макс. відносний діапазон вимірювання для середовища вологістю RH 60% (без конденсації). Похибка до  $\pm 0,03$  pC/s
2. При температурі  $25^{\circ}\text{C}$ , макс. відносний діапазон вимірювання для середовища вологістю RH 70% (без конденсації). Похибка до  $\pm 0,05$  pC/s
3. При температурі  $50^{\circ}\text{C}$ , максимально відносний діапазон вимірювання для середовища вологістю RH 50% (без конденсації). Похибка до  $\pm 0,3$  pC/s

					МД.ПІ71мн.20.000.00ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Максимальний діапазон напруги

між входом і виходом (земля) становить: до  $\leq \pm 30\text{В}$

Перевантаження: до  $\approx \pm 105\%$

Діапазон вимірювання напруги: від 2 до 22000 мВ

Невизначеність вимірювань:

- Повний діапазон сигналу  $< 100\text{ pC}$  Похибка до  $\pm 1\%$
- Повний діапазон сигналу  $\geq 100\text{ pC}$  Похибка до  $\pm 0,5\%$

Відхилення в режим вимірювання постійної напруги

4. При температурі  $25^\circ\text{C}$ , макс. відносний діапазон вимірювання для середовища з вологістю RH 60% (без конденсації) діапазон 10 В; та коефіцієнту підсилення = 1. Похибка до  $\pm 0,03\text{ pC/s}$
5. При температурі  $25^\circ\text{C}$ , максимально відносний діапазон вимірювання для середовища вологістю RH 70% (без конденсації) діапазон 10 V FS; підсилення = 1. Похибка до  $\pm 0,05\text{ pC/s}$  [18]
6. При температурі  $50^\circ\text{C}$ , макс. відносний діапазон вимірювання для середовища вологістю RH 50% (без конденсації) діапазон 10 V FS; підсилення = 1. Похибка до  $\pm 0,3\text{ pC/s}$

Макс. загальний режим напруги

між входом і виходом(земля) становить до  $\leq \pm 30\text{В}$

Перевантаження до  $\approx \pm 105\%$

Прилад серії 5015 фірми Kistler для вимірювання зусиль відповідає класу точності 0,1.

Відносна похибка приладу 5015 фірми Kistler становить  $\pm 0,1\%$

$$\delta_{\text{вим.сили}} = \pm 0,1\%$$



## Осцилоскоп серії MOSX2024 фірми KEYSIGHT

Осцилоскоп фірми MOSX2024 зображено нижче на рисунку 22.

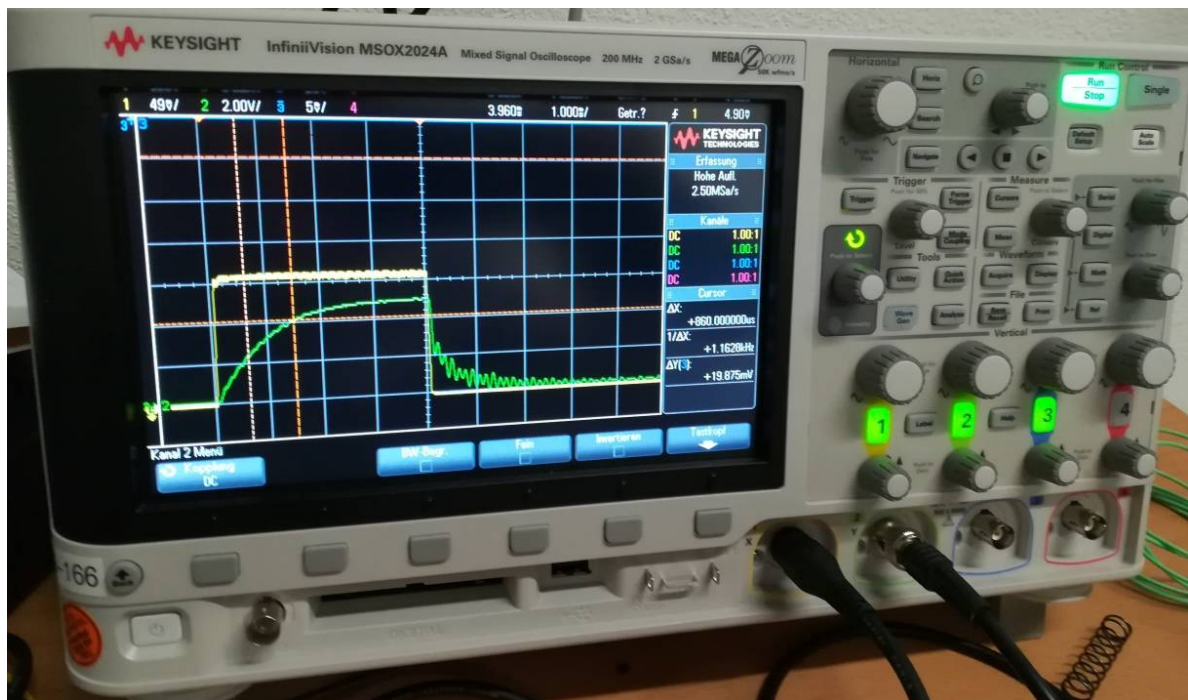


Рисунок 22. Осцилоскоп фірми KEYSIGHT серії MOSX2024

Технічні характеристики осцилоскопа MOSX2024 наступні [19]:

- Ширина смуги пропускання 200 МГц;
- Полоса пропускання чотирьохканальна;
- Осцилограф MOSX2024 зручний для налагодження пристроїв, в яких діють аналогові сигнали та строго корельовані цифрові сигнали;
- Вісім цифрових каналів працюють при частоті дискретизації 1 Гвиб/с з частотою перемикавання каналів 50 МГц;
- Осцилограф має 8,5-дюймовий дисплей WVGA;
- Частота змінної дискретизації 2 Гвиб/с;
- Частота незмінної дискретизації 1 Гвиб/с;
- Осцилограф використовує 100 кілоточок пам'яті MegaZoom IV на один канал, для забезпечення найвищої швидкості оновлення сигналу та можливість розширення до 1 мега точки на один канал;

					МД.ПІ71мн.20.000.00ПЗ	64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- Опції послідовного декодування і запуску для сигналів CAN/LIN, I2C/SPI, і UART/RS232 Lister для відображення пакетів послідовного декодування;
- Можливість використання математичних операцій за допомогою осцилографа, а саме: додавання, віднімання, множення і швидке перетворення Фур'є;
- Вбудований генератор сигналів спеціальної форми: сигнали синусоїдальної, прямокутної, пилоподібної форми, імпульси, постійна напруга, шум;
- Порти USB для виведення даних на друк, для збереження даних;
- Додатковий модуль LAN/VGA для приєднання до локальної мережі і до зовнішнього відеомонітора [19].

Осцилоскоп MOSX2024 фірми KEYSIGHT відповідає класу точності 0,05.

Відносна похибка осцилоскопа MOSX2024 фірми KEYSIGHT становить:

$$\delta_{\text{осциллоскопа}} = \pm 0,05 \% .$$

### Струмові кліщі типу E3N фірми Chauvin Arnoux

Струмові кліщі типу E3N зображено нижче на рисунку 23.



Рисунок 23. Струмові кліщі фірми Chauvin Arnoux типу E3N

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МД.ПІІ71мн.20.000.00ПЗ
					65

Технічні характеристики струмових кліщів фірми Chauvin Arnoux типу E3N Clamp AC/DC наступні [20]:

Макс. діаметр вимірювального проводу	11,8 мм
Вимірювання струму	постійного та змінного
Діапазон вимірювання постійного струму	0,1...10 / 100A
Точність вимірювання постійного струму	± 3%
Діапазон вимірювання перемінного струму	0,1...10 / 100A
Точність вимірювання перемінного струму	± 3%
Вихідний сигнал	100 мВ/1А для 10 А та 10 мВ/1А для 100 А
Габаритні розміри	231 x 67 x36 мм
Тип роз'єму	BNC
Маса з батареєю	330 г

Струмові кліщі типу E3N фірми Chauvin Arnoux відповідають класу точності 2,5.

Відносна похибка для струмових кліщів типу E3N становить [20]

$$\delta_{\text{струм.кліщів}} = \pm 3\%$$

Сумарну похибку всіх приборів, що використовувалися на випробувальному стенді розрахуємо за наступною формулою:

$$\sum \epsilon = \delta_{\text{блоку живлення}} + \delta_{\text{блок.управл}} + \delta_{\text{вим.сили}} + \delta_{\text{осцилоскопа}} + \delta_{\text{струм.кліщів}},$$

звідки

$$\sum \epsilon = 2\% + 0,05\% + 0,1\% + 0,05\% + 3\% = 5,2\%$$

Отже сумарна похибка всіх приборів, що використовувалися на випробувальному стенді становить **5,2 %**.

## 5. Розробка методики дослідження електромагніту на випробувальному стенді.

Ціллю проведення досліджень нового зразка електромагніту RM-08A на випробувальному стенді, є визначення його силових параметрів в залежності від різних комбінацій магнітного зазору, струму, напруги та часу намагнічування.

Результати тестування електромагніту RM-08A будуть використанні для перевірки проведених теоретичних розрахунків параметрів котушки та зворотної пружини в клапані E-PPN управління впорскування палива інтелектуальної системи управління частотою обертання.

Нижче на рис. 29 наведене фото випробувального стенду з обладнанням для тестування для дослідження електромагніту RM-08A.

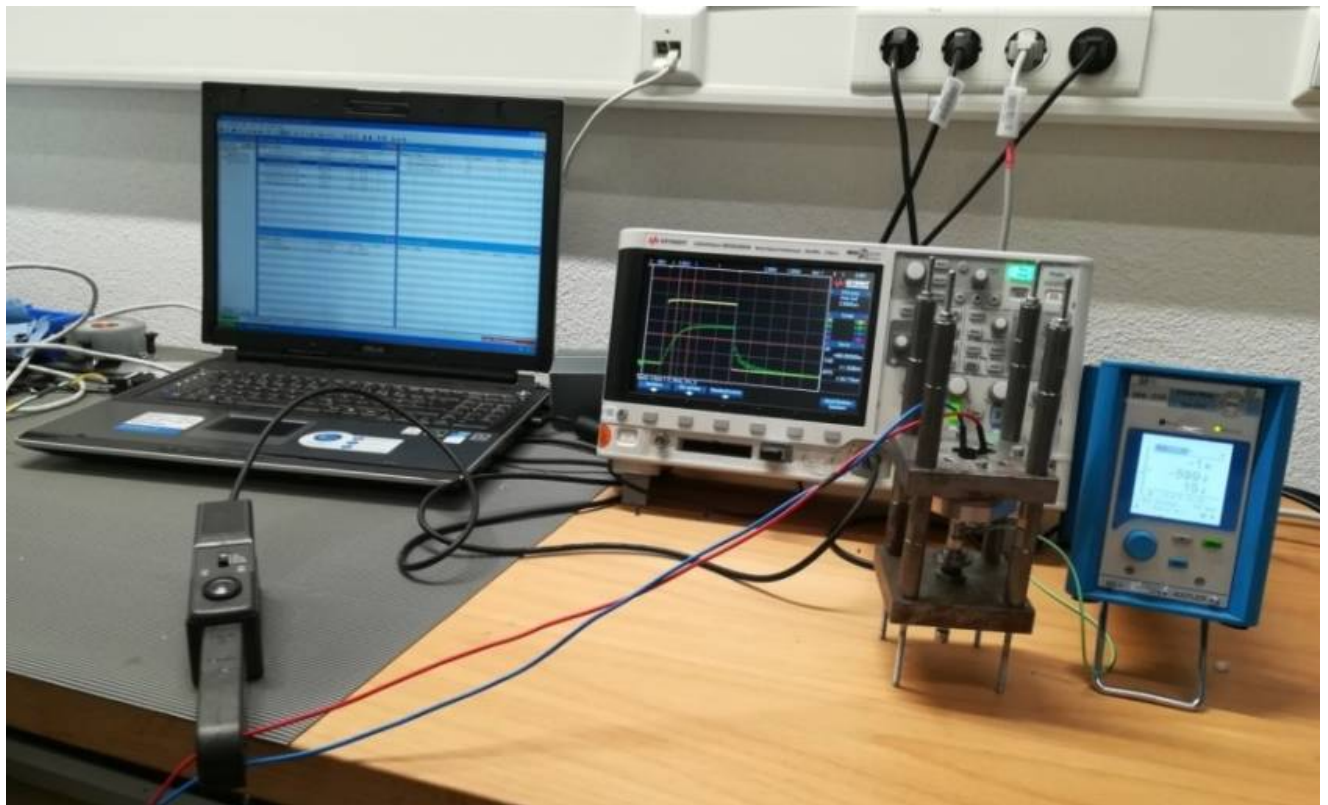


Рисунок 29. Випробувальний стенд з обладнанням для тестування

Випробувальний стенд для тестування електромагніту RM-08A для системи E-PPN складається з:

- Приспособлення для тестування електромагніту зображено на рис. 30,



Рисунок 30. Приспособлення для тестування електромагніту

- Блок живлення MR3005D-3 зображено на рис. 31,



Рисунок 31. Блок живлення серії MR3005D-3



- Прилад для вимірювання сили, серії 5015 фірми Kistler зображено на рис. 32,



Рисунок 32. Прилад для вимірювання зусилля, серії 5015 фірми Kistler

- Електронний блок управління MVC 01-24 зображено на рис. 33.



Рисунок 33. Електронний блок управління MVC 01-24

					МД.ПІ71мн.20.000.00ПЗ	69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Осцилоскоп фірми KEYSIGHT серії MOSX2024 зображено на рис. 34.

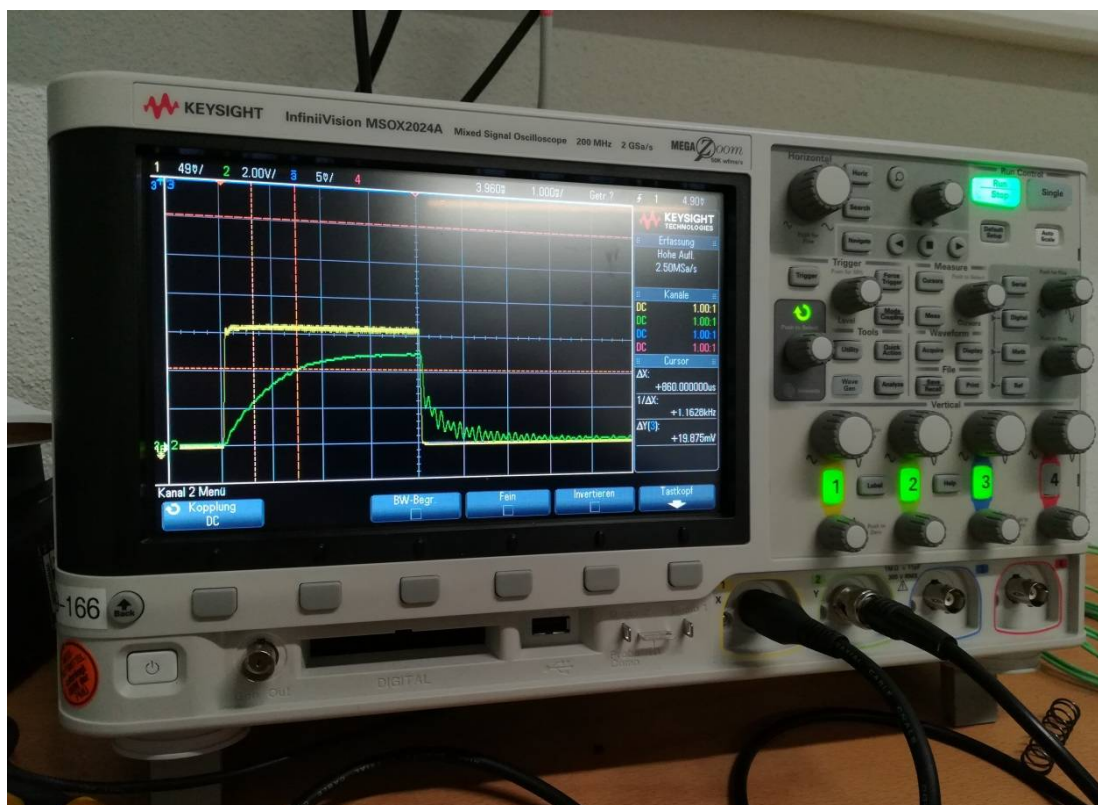


Рисунок 34. Осцилоскоп фірми KEYSIGHT серії MOSX2024

- Струмові кліщі фірми Chauvin Arnoux типу E3N зображено на рис. 35.



Рисунок 35. Струмові кліщі фірми Chauvin Arnoux типу E3N

					МД.ПІ71мн.20.000.00ПЗ	70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Комп'ютер з комунікаційною програмою DcDesk, зображено на рис. 36.

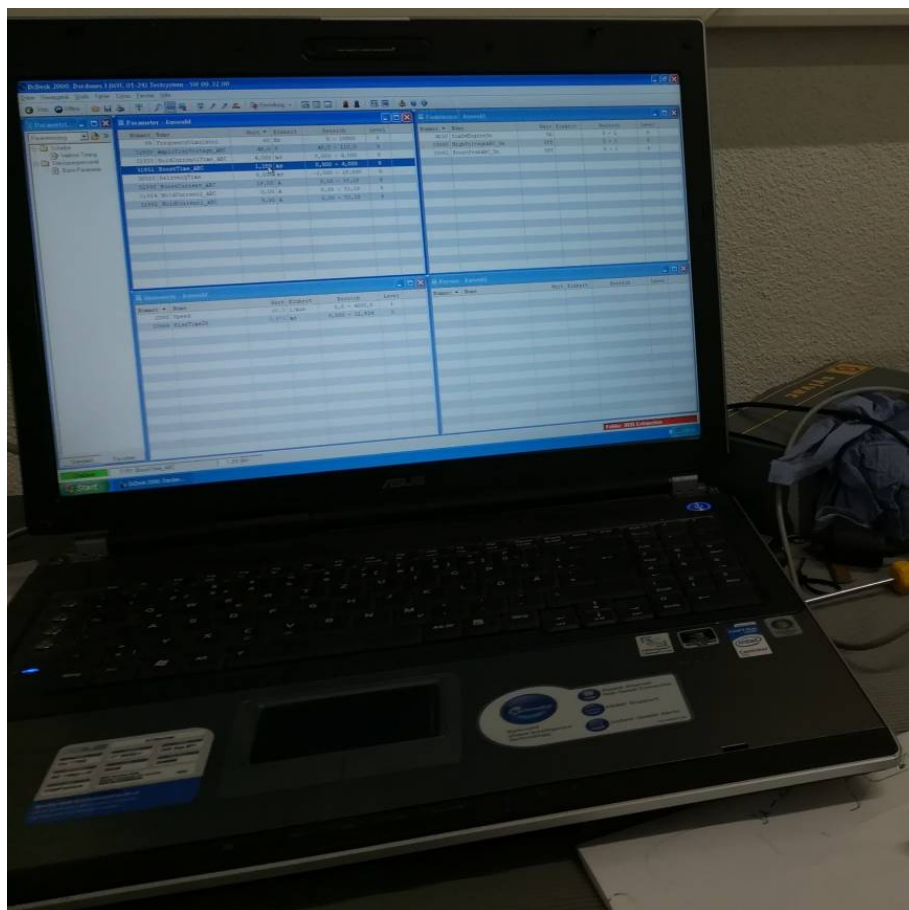


Рисунок 36. Комп'ютер з комунікаційною програмою DcDesk 2000

- Регулювальні щупи для регулювання магнітного зазору зображено на рис. 37.



Рисунок 37. Регулювальні щупи для регулювання магнітного зазору



## 5.1 Розробка структурної схеми випробувального стенда

Для тестування електромагніту RM-08A на випробувальному стенді, розроблена структурна схема, яка наведена нижче на рис. 38.

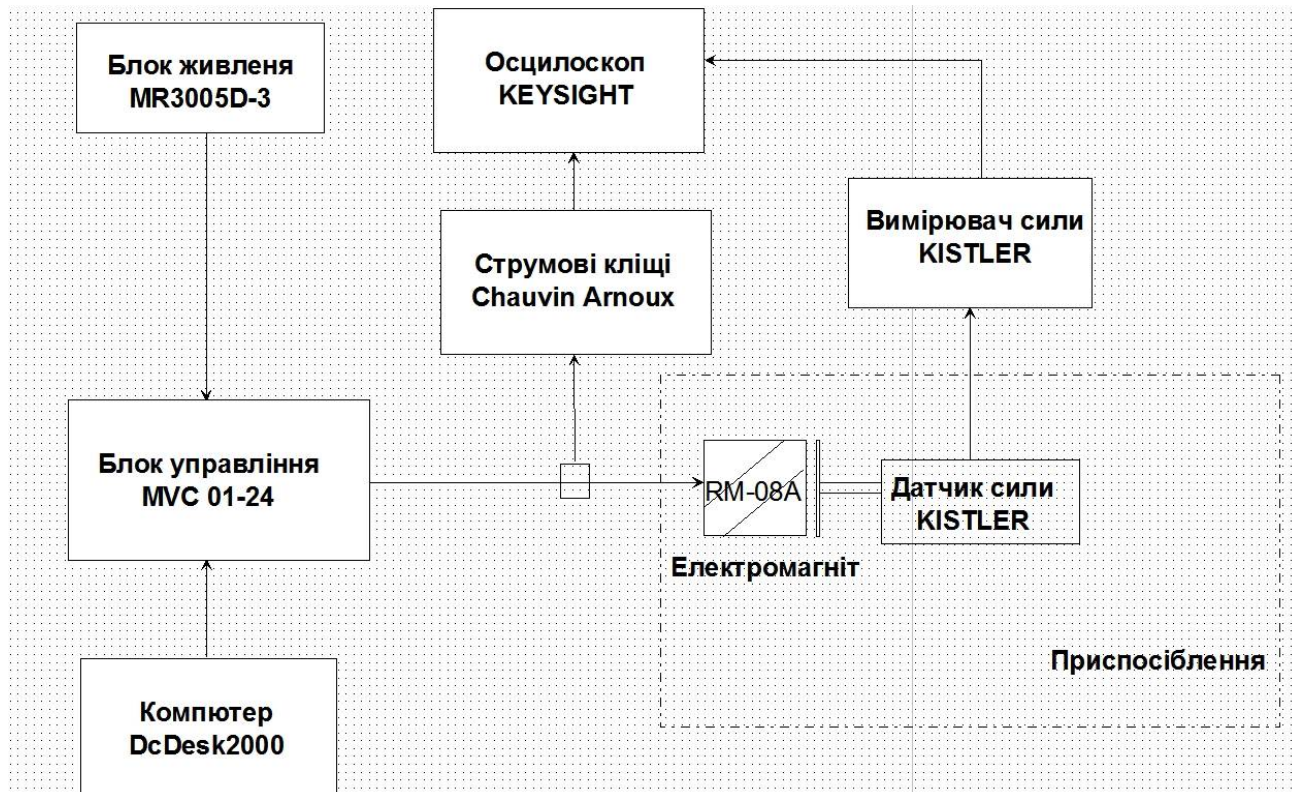


Рисунок 38. Структурна схема випробувального стенда.

Перед тестування електромагніту RM-08A на випробувальному стенді потрібно провести наступні підготовчі роботи згідно структурної схеми випробувального стенду:

### Етап 1

- Монтаж електромагніту типу RM08A на тестувальне приспособлення та підключення до блоку управління MVC 01-24;
- Калібрування магнітного зазору між електромагнітом типу RM08 та якорем;
- Підключення та налаштування роботи осцилографа, фірми KEYSIGHT, та налаштування запису даних у коректному форматі на носії даних;



- Калібрування датчика сили та приладу для вимірювання зусилля, фірми Kistler серії 5015;
- Налаштування струмових кліщів фірми Chauvin Arnoux типу E3N Clamp AC/DC у діапазоні вимірювання 10 мВ/А;
- Підключення та налаштування блоку управління MVC 01-24 та параметризація програмного забезпечення під необхідні умови тестування.

## Етап 2

Дослідження електромагніту на випробувальному стенді та основні параметри тестування:

- Електромагніт типу RM-08A [6],
- Час намагнічування в діапазоні від 1 мс до 4 мс,
- Напруга живлення магніту 24 В, 48 В,
- Діапазон струму намагнічення в діапазоні від 6 А до 12 А, з кроком 2 А,
- Магнітний зазор: 0,05 мм, 0,10 мм та 0,15 мм.

На випробувального стенді проводились тестування електромагніту типу RM-08A та будуються діаграми залежності магнітного зусилля від часу намагнічення для кожного конкретного магнітного зазору в середовищі Microsoft Excel.

## Тест 1.

Вхідні параметри:

- Магнітний зазор 0,05 мм.
- Час намагнічування до 4 мс,
- Напруга живлення магніту 24 В,
- Діапазон струму для випробування магніту від 6А до 12А з кроком 2А.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МД.ПІ71мн.20.000.00ПЗ
					73

Нижче на рис. 39 наведено діаграму магнітного зусилля від часу, зазор 0,05 мм, напруга 24 В.

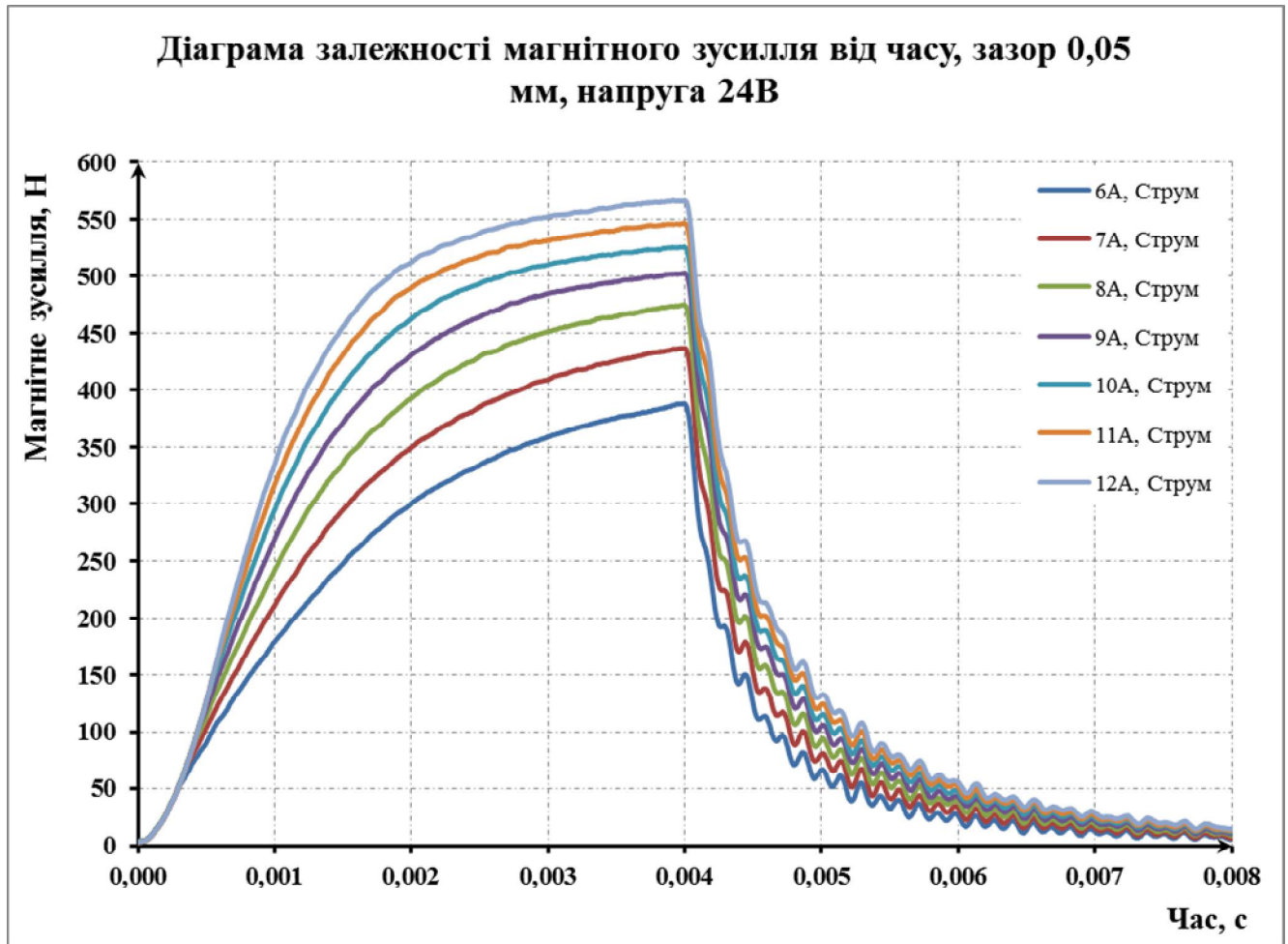


Рисунок 39. Діаграма магнітного зусилля від часу, зазор 0,05 мм, напруга 24В

Мінімальне магнітне зусилля 390 Н, досягається при струмі 6А.

Максимальне магнітне зусилля 566 Н, досягається при струмі 12А.

Насичення електромагніту відбувається за 4 мс.

## Тест 2.

Вхідні параметри:

- Магнітний зазор 0,05 мм.
- Час намагнічування до 4 мс,
- Напруга живлення магніту 48 В,
- Діапазон струму для випробування магніту від 6А до 12А з кроком 2А.

Нижче на рис. 40 наведено діаграму магнітного зусилля від часу, зазор 0,05 мм, напруга 48 В.

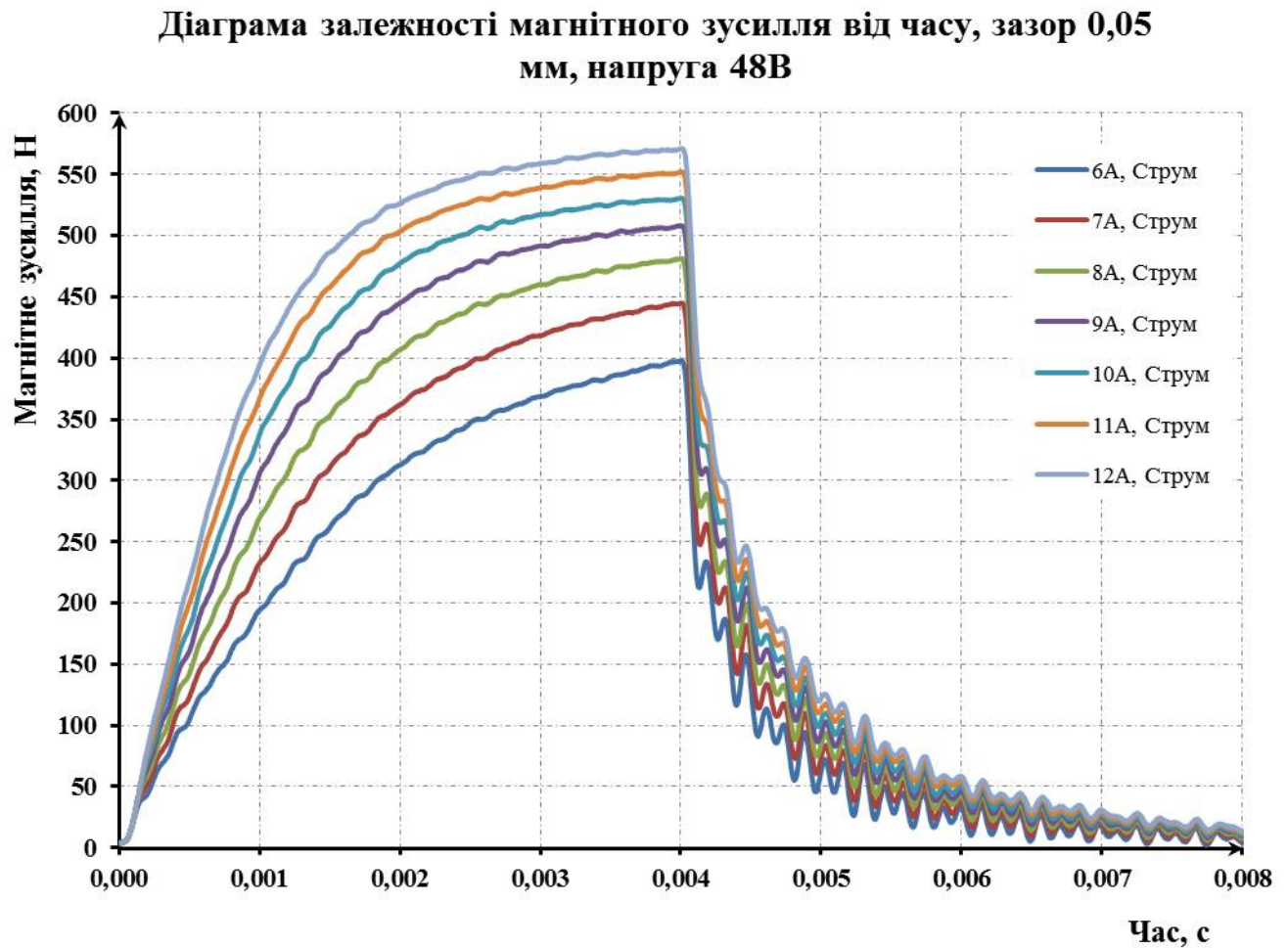


Рисунок 40. Діаграма магнітного зусилля від часу, зазор 0,05 мм, напруга 48В

Мінімальне магнітне зусилля 397 Н, досягається при струмі 6А.

Максимальне магнітне зусилля 570 Н, досягається при струмі 12А.

Насичення електромагніту відбувається за 4 мс.

### Тест 3.

Вхідні параметри:

- Магнітний зазор 0,10 мм.
- Час намагнічування до 4мс,
- Напруга живлення магніту 24 В,
- Діапазон струму для випробування магніту від 6А до 12А з кроком 2А.

Нижче на рис. 41 наведено діаграму магнітного зусилля від часу, зазор 0,10мм, напруга 24В.

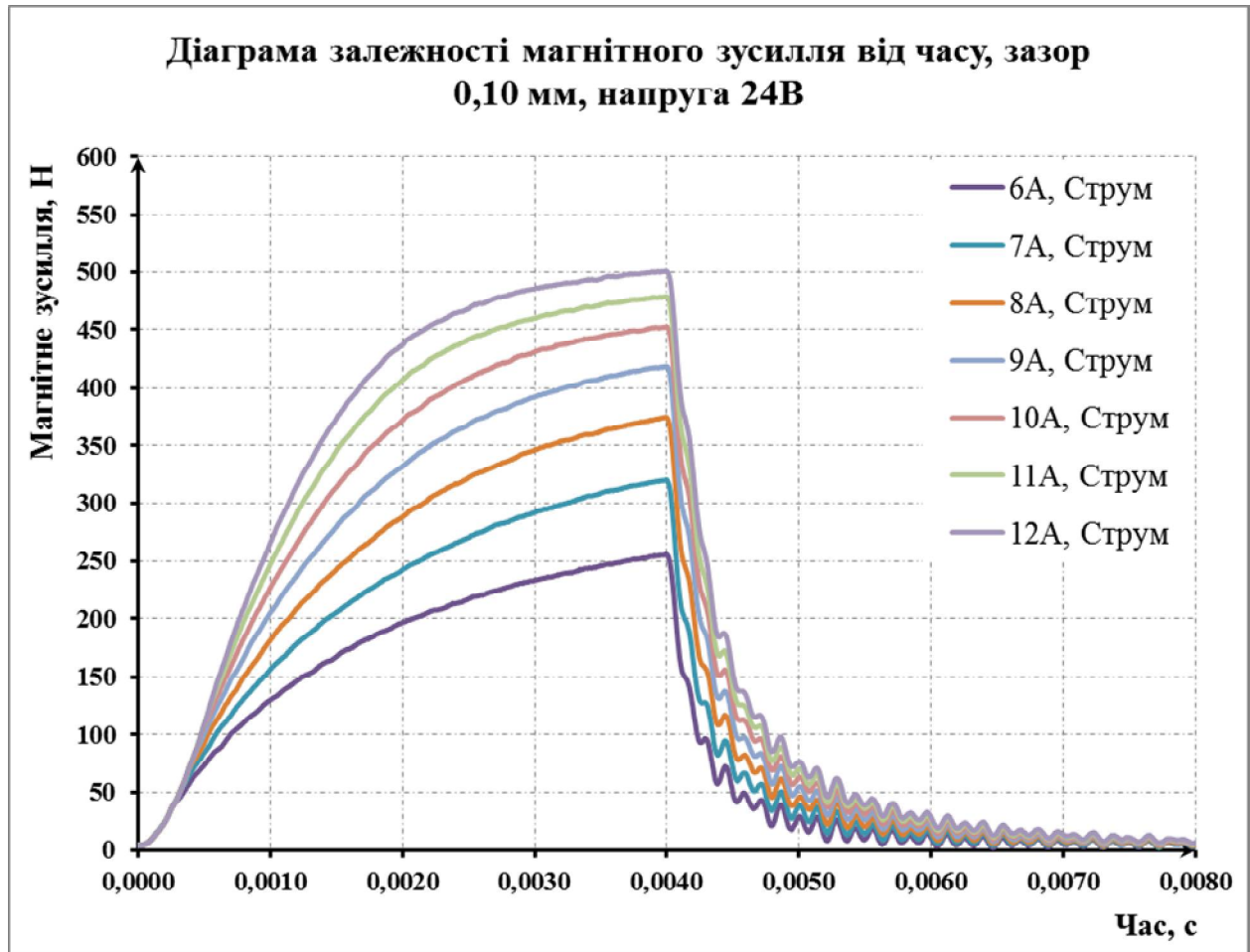


Рисунок 41. Діаграма магнітного зусилля від часу, зазор 0,10 мм, напруга 24В

Мінімальне магнітне зусилля 255 Н, досягається при струмі 6А.

Максимальне магнітне зусилля 500 Н, досягається при струмі 12А.

Насичення електромагніту відбувається за 4 мс.

#### Тест 4.

Вхідні параметри:

- Магнітний зазор 0,10 мм.
- Час намагнічування до 4мс,
- Напруга живлення магніту 48В,
- Діапазон струму для випробування магніту від 6А до 12А з кроком 2А.

Нижче на рис. 42 наведено діаграму магнітного зусилля від часу, зазор 0,10 мм, напруга 24 В.

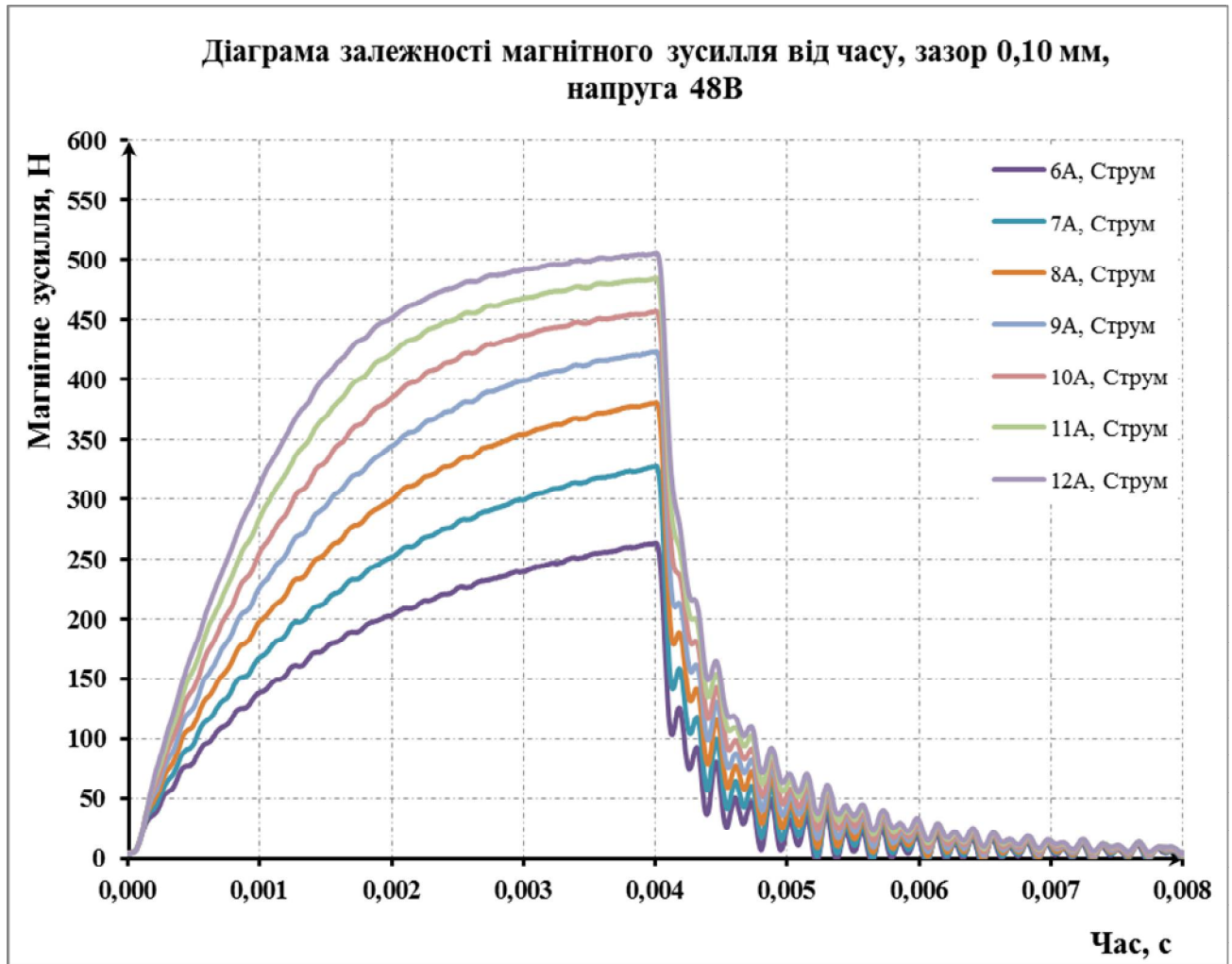


Рисунок 42. Діаграма магнітного зусилля від часу, зазор 0,10 мм, напруга 48В

Мінімальне магнітне зусилля 267 Н, досягається при струмі 6А.

Максимальне магнітне зусилля 506 Н, досягається при струмі 12А.

Насичення електромагніту відбувається за 4 мс.

### Тест 5.

Вхідні параметри:

- Магнітний зазор 0,15 мм.
- Час намагнічування до 4мс,
- Напруга живлення магніту 24 В,

- Діапазон струму для випробування магніту від 6А до 12А з кроком 2А.

Нижче на рис. 43 наведено діаграму магнітного зусилля від часу, зазор 0,15 мм, напруга 24В.

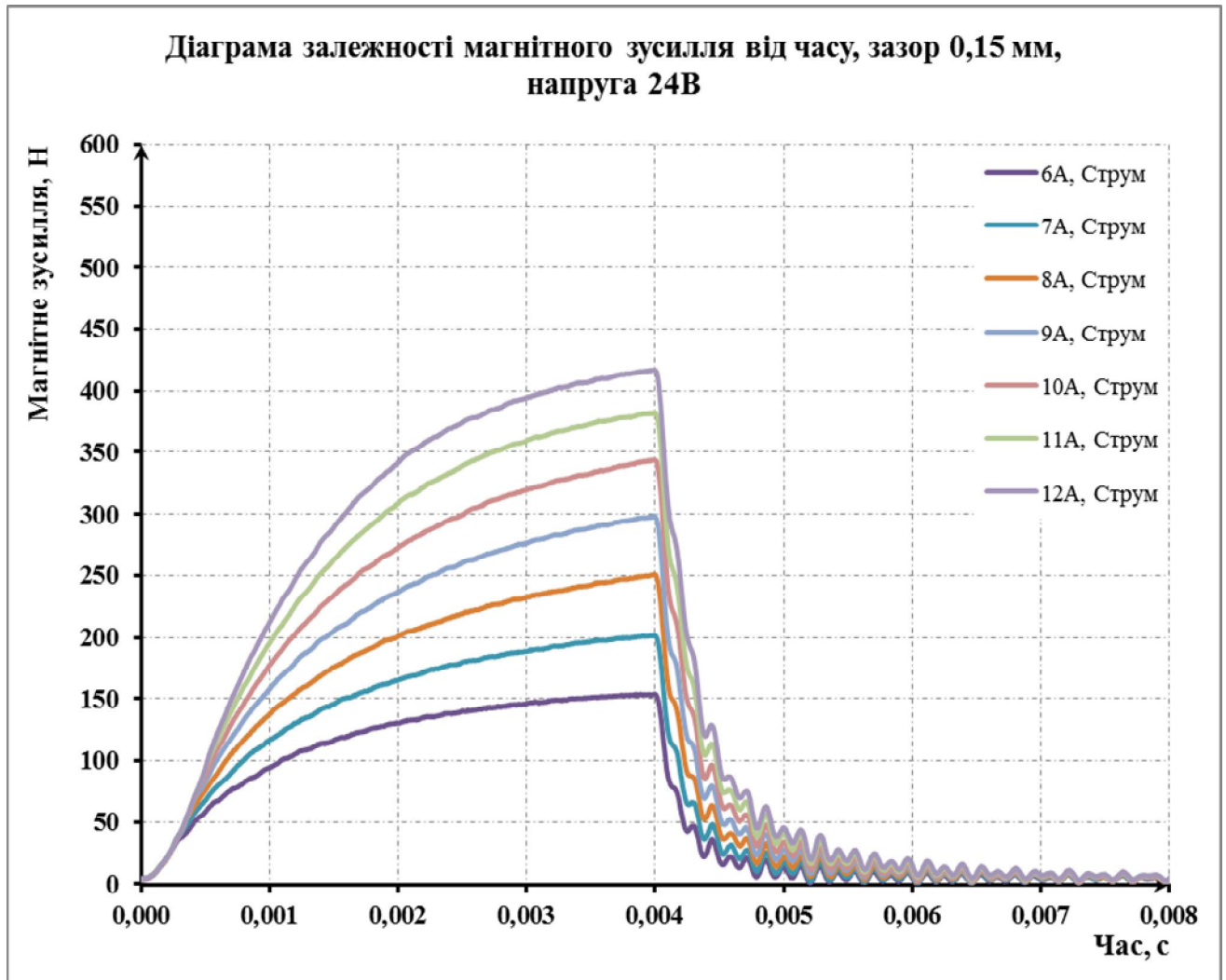


Рисунок 43. Діаграма магнітного зусилля від часу, зазор 0,15 мм, напруга 24В

Мінімальне магнітне зусилля 154 Н, досягається при струмі 6А.

Максимальне магнітне зусилля 417 Н, досягається при струмі 12А.

Насичення електромагніту відбувається за 4 мс.

### Тест 6.

Вхідні параметри:

- Магнітний зазор 0,15 мм.
- Час намагнічування до 4мс,



- Напруга живлення магніту 48 В,
- Діапазон струму для випробування магніту від 6А до 12А з кроком 2А.

Нижче на рис. 44 наведено діаграму магнітного зусилля від часу, зазор 0,15 мм, напруга 48 В.

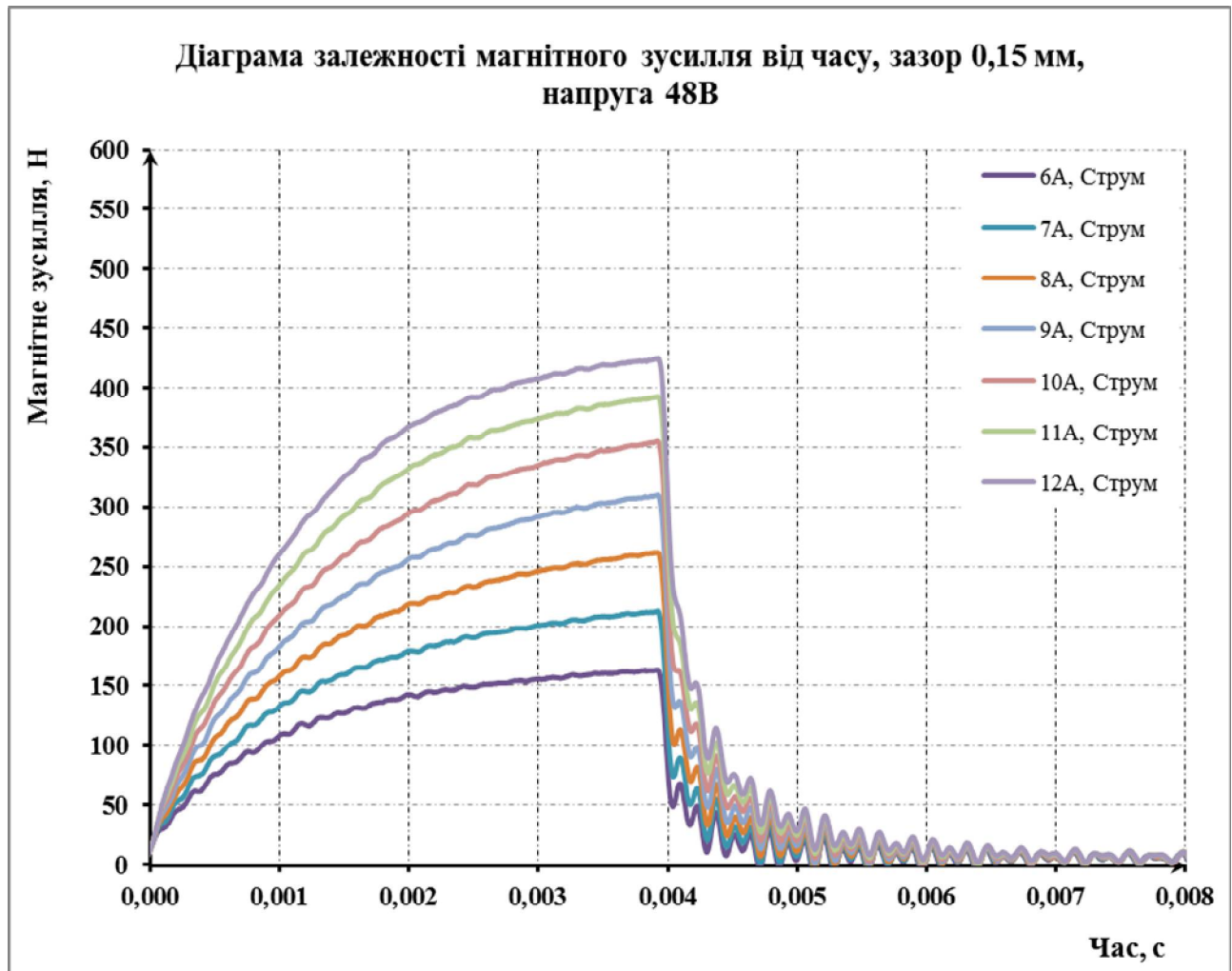


Рисунок 44. Діаграма магнітного зусилля від часу, зазор 0,15 мм, напруга 48В

Мінімальне магнітне зусилля 166 Н, досягається при струмі 6А.

Максимальне магнітне зусилля 424 Н, досягається при струмі 12А.

Насичення електромагніту відбувається за 4 мс.

На основі цих діаграм було побудовано зведену діаграму для визначення зусилля магніту в залежності від зазору та струму, для напруги 24 В та 48 В.

Нижче на рис. 45 зведену діаграму для визначення зусилля магніту в залежності від зазору та струму, для напруги 24 В.

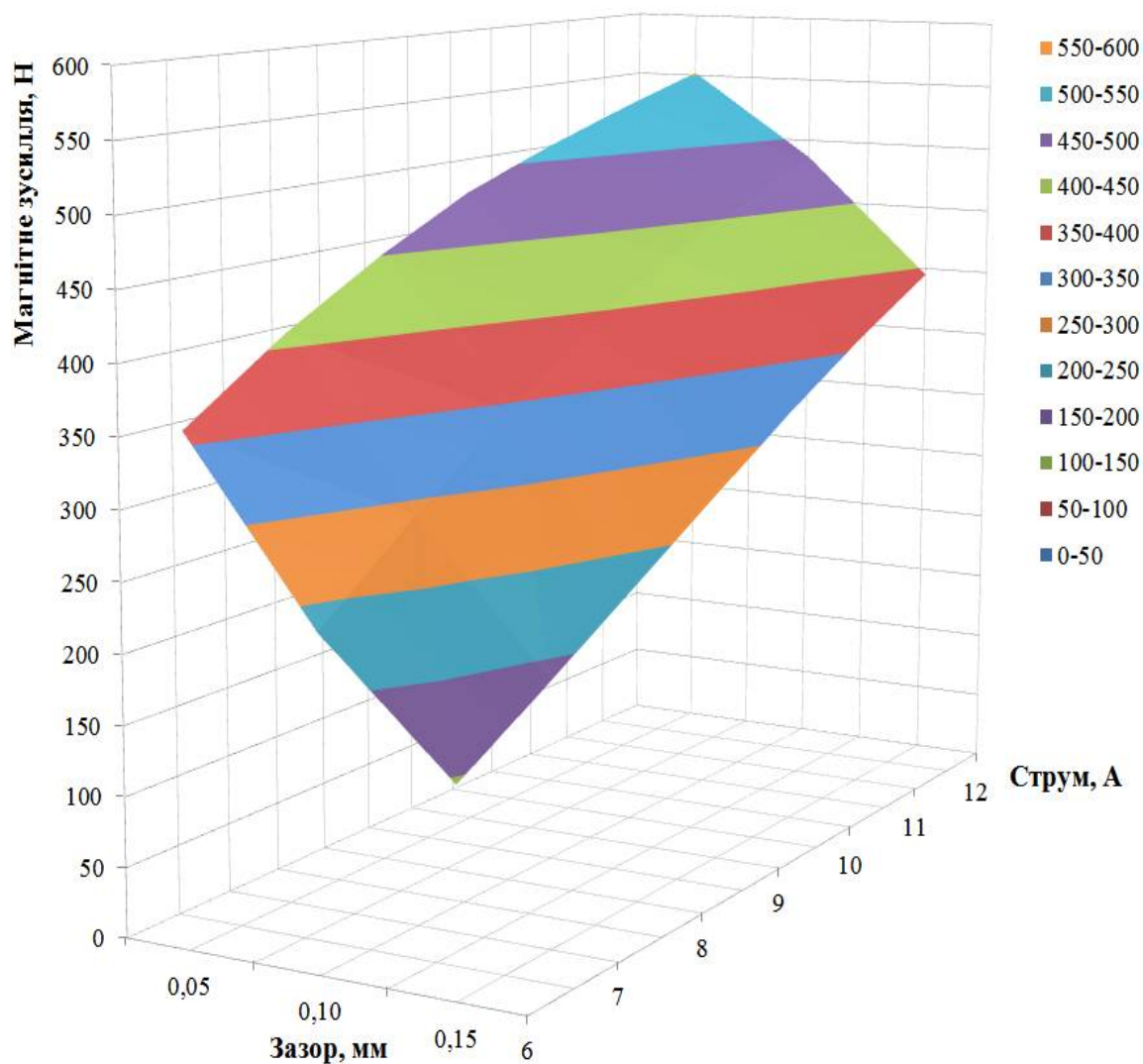


Рисунок 45. Зведена діаграма для визначення зусилля магніту в залежності від зазору та струму, для напруги 24 В

Мінімальне магнітне зусилля 153 Н, досягається при струмі 6А, зазор 0,15мм.

Максимальне магнітне зусилля 500 Н, досягається при струмі 12А, зазор 0,05 мм.

Насичення електромагніту відбувається за 4 мс.



Нижче на рис. 46 зведену діаграму для визначення зусилля магніту в залежності від зазору та струму, для напруги 48 В.

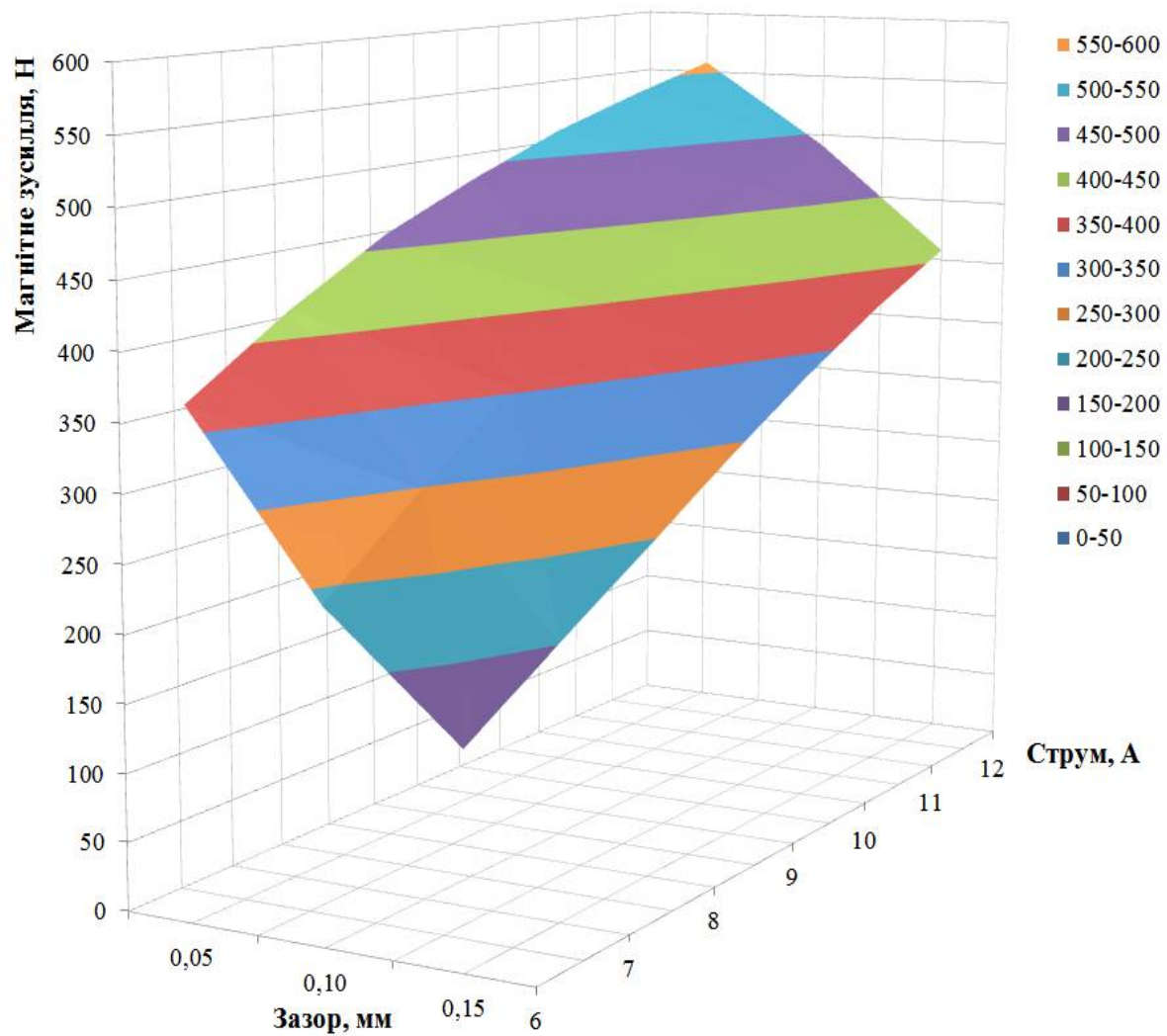


Рисунок 46. Зведена діаграма для визначення зусилля магніту в залежності від зазору та струму, для напруги 48 В.

Мінімальне магнітне зусилля 166 Н, досягається при струмі 6А, зазор 0,15мм.

Максимальне магнітне зусилля 566 Н, досягається при струмі 12А, зазор 0,05 мм.

Насичення електромагніту відбувається за 4 мс.

## Загальні висновки

### Результати досліджень нового зразка електромагніту RM-08A

Проведені теоретичні розрахунки котушки модифікованого електромагніту RM-08A були підтверджені тестуваннями на випробувальному стенді. Модифікований електромагніт RM-08A має наступні технічні параметри для напруги живлення 24 В:

Габаритні розміри	Ø 41 мм x 22 мм
Максимальний робочий зазор	0,65 мм
Залишковий повітряний зазор	0,05 мм
Максимальний струм насичення	12 А
Максимальний струм утримування	6 А
Час насичення	4,0 мс
Мінімальне магнітне зусилля	390 Н
Мінімальне магнітне зусилля	566 Н
Діапазон робочих температур	від -40° С до + 130° С
Температура зберігання	від -40° С до + 150° С
Напруга живлення	24 В
Степінь захисту	IP 66 К

Дані параметри електромагніту дають можливість використання його в електромагнітних паливних клапанах серії E-PPN, для дизельних двигунів з наступними вимогами до інтелектуальних систем впорскування палива, а саме:

- максимальний тиску впорскування палива до 1600 бар;
- максимальні оберти двигуна до 1200 об/хв;
- циліндрова потужність в діапазоні від 50 до 350 кВт/цикл.;
- циклова подача палива до 2800 мм<sup>3</sup>/цикл;
- гарантований термін роботи до 20000 годин.

В процесі тестування нового електромагніту RM-08A були проведені випробування також при напрузі живлення 48 В. Збільшення напруги живлення не привело до суттєвого магнітного зусилля, лише покращило швидкодію

					МД.ПІ71мн.20.000.00ПЗ	82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електромагніту RM-08A. Оскільки в імпульсних системах впорскування палива з клапанами серії E-PPN, вимагається більш плавне відкриття і закриття дозуючого паливного клапану, то перехід на напругу живлення 48 В не дає переваг по відношенню з напругою живлення 24 В. Якщо даний електромагніту RM-08A буде застосований в акумуляторних системах впорскування палива, де вимагається значно більша швидкодія електромагніту тоді більш необхідне використання напруги живлення 48 В або більше.

				МД.ІІІ7Імн.20.000.00ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	83

## 6. Розробка СТАРТАП-проекту «Дослідження та оптимізація виконавчих елементів систем впорскування палива»

### 6.1 Опис ідеї проекту

В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту який має на меті визначення змоги нашого продукту вийти на ринок і конкурувати з продуктами які вже зайняли на ньому своє місце. Розробка стартапу проводиться згідно методики викладеної в [26].

У таблиці 1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Оптимізація виконавчих елементів систем впорскування палива	Промисловість, машинобудування	1. Підвищення довговічності і надійності роботи 2. Економія витрати палива
	Судові головні силові та допоміжні силові установки	1. Підвищення довговічності і надійності роботи 2. Економія витрати палива
	Сільськогосподарська техніка	1. Підвищення довговічності і надійності роботи 2. Економія витрати палива

Отже, пропонується система для оптимізація виконавчих елементів систем впорскування палива для дизельних двигунів, яка дозволяє зменшити витрату палива, підвищити термін роботи двигуна.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів [26]:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та

проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають [26]:
  - а) гірші значення (W, слабкі);
  - б) аналогічні (N, нейтральні) значення;
  - в) кращі значення (S, сильні) (табл. 2).

Таблиця 2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/ п	Техніко- економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторо на)	N (нейтрал ьна сторона)	S (сильн а сторо на)
		Мій проект	Конкур ент Bosch	Конкур ент Delphi	Конкур ент Scania			
1	Торгівельна марка	немає	є	є	є	+		
2	Показники скорочення часу	Висока	Середня	Середня	Низка			+
3	Показники оптимізованого використання робочих центрів	Висока	Висока	Середня	Середня			+
4	Патенти на продукти	є	є	є	є		+	+
5	Економічність	Середня ціна	Висока ціна	Середня ціна	Низька ціна		+	

Після порівняння характеристик проекту з конкурентами був визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик і властивостей ідеї потенційного товару, що є підґрунтям для формування його

конкурентоспроможності. Товар є захищеним від копіювання за рахунок патенту на винахід.

## 6.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології (методики розрахунків), за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Таблиця 3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
1	Оптимізація роботи робочих центрів	Технологія планування виробництва	Наявні	не доступні
2	Швидка зміна пріоритетів виготовлення	Технологія планування виробництва	Наявні	не доступні
3	Легка адаптивність до зміни виробів	Технологія планування виробництва	Наявні	не доступні

Зробивши аналіз даної таблиці робимо висновок, що цей проект можна реалізувати тому що всі необхідні технології для реалізації даних ідей наявні, але не має можливості їх реалізувати. Так як потрібна велика сума коштів. Тому необхідно залучати зарубіжних інвесторів для реалізації даного проекту.

## 6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг та динаміка розвитку ринку.

Таблиця 4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Показники стану ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
1	Кількість головних гравців, од	9
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	2000000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Конкуренція зарубіжних фірм
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	40%

За попереднім оцінюванням ринок має зростаючу динаміку і хороший попит на запропонований нами продукт, тому можна зробити висновок, що даний продукт може вийти у ринок, хоча на ринку вже існують іноземні фірми, які працюють і розробляють аналоги цих систем хорошої якості, але за рахунок сучасних технологій і переваг, продукт що розробляється є конкурентоспроможним.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи.

Таблиця 5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1	Гнучке виробництво товарів	Заводи, фірми з великою кількістю робочих установок, і з великою кількістю замовлень	Підприємства з великим асортиментом можливостей виготовлення будь-яких виробів	- до продукції: Система повинна працювати без збоїв  - до компанії-постачальника: Надання товарів без перебоїв та вчасно

Отже потенційною групою клієнтів продукту мають стати заводи, фірми з великою кількістю робочих установок і з великою кількістю замовлень, які побачать економічну вигоду та надійність систем. При застосуванні даної технології існують певні загрози. Для попередження загроз робити таких систем необхідно якісне обладнання, а також працювати з налаштуванням таких систем повинні висококваліфіковані фахівці.

Таблиця 6. Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Конкуренція	Поява аналогів	Доведення на практиці, що технологія буде економічно вигіднішою, ніж у конкурентів
2	Старіння	Поява Модернізованої продукції	Моніторинг трендів, постійна модернізація згідно з вимогами ринку
3	Відсутність попиту на продукцію	Не бажання споживачів переходити на нову технологію	Приведення аргументованих доказів, що зміна технології приведе до збільшення попиту на продукт.
4	Обслуговування	Ймовірність збоїв при роботі програми	Своєчасна підтримка в мережі інтернет
5	Технічний	Мало спеціалістів в даній області	Впровадження постійної підтримки кваліфікованих техніків

В таблиці 6 ми визначили фактори загроз, які перешкоджають ринковому впровадженню нашого проекту, а також можливу реакцію на фактор щоб звести до мінімуму його вплив.

Таблиця 7. Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Науково-технічні	Зміниться технологія виготовлення продукту	Впровадить технологію і змінить вартість товару
2	Можливість створення сайту з реалізації даного продукту	Купівля продукту на віддаленій відстані	Зробити акцент на якості продукції
3	Попит	Потреба вчасне Вдосконалення продукту	Модернізація продукту, розробка нових ідей
4	Політико правові	Може вплинути на купівлю/продаж товару.	Зміна напрямків імпорту



5	Економічні	Політика протекціонізму; Підтримка інноваційного виробництва.	Підвищення / пониження ціни на продукт;
---	------------	--	---

В таблиці 7. ми змогли визначити основні фактори можливостей які сприяють ринковому впровадженню нашого продукту.

Таблиця 8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Монополія	В галузі домінує декілька фірм	Виготовлення вдосконаленого товару
2. Національний	Конкуренція фірм на міжнародному рівні	Реклама продукції. Створення сайту на різних мовах
3. Міжгалузева	Виробники виготовляють продукти, які задовольняють різні потреби	Виготовлення товару відмінного в якості, ціні.
4. Товарно-видова	Різноманітні товари для задоволення конкретної потреби	Розробка нових технологій
5. Цінова	Використання ціни як засіб кращих умов збуту	Підвищення якості продукту, за такою ж ціною, що і у конкурентів
6. Марочна	Вказує, яке підприємство відповідальне за готовий продукт	Створення власної марки

В даній таблиці проаналізовано ринок збуту нашого продукту і визначено загальні риси конкуренції на ньому. Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари-замінники</i>
<i>Складові аналізу</i>	Bosch Scania Delphi	Великий асортимент товарів у конкурентів.	Значення розміру поставок, диференціація витрат	Розмір закупівель, торговельні знаки	Ціна, марки конкурентів.
Висновки:	Інтенсивність конкуренції	Присутні	Не диктують	Диктують.	Велика

	прийнятна. Більшість фірм отримують цілком помірний прибуток.	можливості входу в ринок за рахунок нової технології та інвестицій.		Вимоги до ціни і якості продукту	кількість товарів- замінник ів
--	---	---	--	---	---

Отже, відповідно до наведеного вище аналізу головними силами, які діють на конкуренцію в галузі є постачальники і споживачі. Також все більшого значення набуває інтенсивність конкуренції між існуючими конкурентами.

Таким чином в межах структурного підходу до аналізу конкуренції тип конкуренції – монополістична конкуренція.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Поки проект не впроваджено в життя, це важко зробити точно, можна дати лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

Таблиця 10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Надійність	Більша надійність продукту, ніж у конкурентів
2	Швидка зміна виробництва	За рахунок великої кількості технологічних операцій
3	Якість	Вище перераховані фактори покращують якість продукту, а це один із головних критеріїв у клієнтів
4	Ціновий	Опрацювання відгуків клієнтів, вдосконалення відповідно до їх пропозицій та за можливості зниження ціни на продукт.
5	Новизна	Нова технологія дозволяє продукту стати конкурентоспроможними на ринку

На основі проведеного аналізу ми змогли визначити та обґрунтувати фактори конкурентоспроможності нашого проекту.

Таблиця 11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «систем  
впорскування палива»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ... (назва підприємства)						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Надійність	17						+	
2	Якість	18							+
3	Ціна	15					+		
4	Новизна	16					+		

Порівняльний аналіз сильних і слабких сторін показав, що надійність, довговічність і час роботи, за таку ж саму ціну на продукт, дає перевагу над іншими продуктами і тому даний проект може стати конкурентоспроможним на ринку.

Таблиця 12. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- краще оптимізоване програмне забезпечення, ніж у конкурентів;</li> <li>- краща продуктивність;</li> <li>- краща якість продукту;</li> <li>- наявність патентів дозволяє споживачу бути впевненим у якості продукту.</li> </ul>	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- продукт який ще не зарекомендував себе на ринку;</li> <li>- на ринку багато постачальників, тому у клієнтів багатий вибір продукту,</li> <li>- за рахунок високої ціни клієнти обирають більш дешевий продукт, що призводить до втрати потенційного заробітку.</li> </ul>
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- отримання нових замовлень на продукт;</li> <li>- збільшення продаж;</li> <li>- отримання державних замовлень на отримання послуг;</li> <li>- розширення ринку за рахунок іноземних замовників.</li> </ul>	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-широкий асортимент продукції конкурентів;</li> <li>- поява якісніших технологій у конкурентів;</li> <li>-зменшення продажів через несвоєчасне виконання замовлень;</li> </ul>

В таблиці 12 наведено перелік сильних та слабких сторін проект. А також ринкових загроз та ринкових можливостей який складаємо на основі факторів загроз і можливостей. Ринкові загрози та можливості на відміну від факторів ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання відповідних ресурсів.

Таблиця 13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової	Ймовірність отримання	Строки реалізації
---	---	--------------------------	-------------------

п/п	поведінки	ресурсів	
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	10місяців
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Висока	1,8 рік

Проводимо аналіз розроблених альтернатив ринкового впровадження і з зазначених альтернатив обираємо ту яка має найбільшу ймовірність отримання ресурсів, а також є найшвидшою в реалізації. Отже обираємо стратегію нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу наявними ринковими можливостями.

#### 6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ n/n	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Державні підприємства	Готові	Високий попит	Висока	Складна
2	Приватні підприємства	Готові	Високий попит	Висока	Складна
Які цільові державні та приватні підприємства. Використовується стратегія диференційованого групи обрано: маркетингу.					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів обрано цільові групи, для яких будемо пропонувати свою програму для оптимізації робочих центрів та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із конкретним сегментом, розробляючи для нього програму ринкового впливу. Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку.

Таблиця 15. Визначення базової стратегії розвитку

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МД.ПІІ71мн.20.000.00ПЗ
					92

<i>№ n/n</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
1	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Передбачає надання товару важливого з точки зору споживача властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів	Найкращі задіяні робочі центри, виготовлення виробу в поставлений термін. Ціна така, як і у конкурентів	Стратегія диференціації

За базову стратегію розвитку було взято стратегію диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від конкурентів.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки.

Таблиця 16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ n/n</i>	<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
1	Проект не є «першопрохідцем»	Компанія буде забирати існуючих споживачів у конкурентів	Не буде копіювати основні характеристики програми конкурента	Стратегія заняття конкурентної ніші

За базову стратегію конкурентної поведінки була прийнята стратегія зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру. Головне завдання компанії при цьому – це постійна турбота про підтримку і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МД.ПІ71мн.20.000.00ПЗ				93

розробимо стратегію позиціонування, яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 17. Визначення стратегії позиціонування

<i>№ n/n</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспро- можні позиції власного стартап-проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i>
1	Висока оптимізація і Вчасне виготовлення виробів	Стратегія диференціації	Краща якість ніж у конкурентів за такою ж ціною	Надійність Стабільність Точність

Компанія за стратегію розвитку обрала диференціацію, і за цільові групи було обрано державні та приватні підприємства, хоча у них вже є постачальники, але за рахунок нової технології компанія буде забирати клієнтів у конкурентів, і проводити підтримку та реалізовувати розвиток своєї конкурентної переваги.

### 6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
1	Потреба програмному Забезпеченні для оптимізації робочих центрів, і виконання виготовлення виробів в термін	Задіяння всіх робочих центрів, виконання всіх поставлених задач в термін, швидке переналадження системи виробництва	Постійна технічна підтримка та оновлення. Вдосконалення алгоритму роботи та вдосконалення системи. Вдосконалення програмного забезпечення

За рахунок ключових переваг товару і стратегії диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей за такою ж ціною як і у конкурентів буде розроблено маркетингову програму стартап-проекту.

Таблиця 19. Опис трьох рівнів моделі товару

<i>Рівні товару</i>	<i>Сутність та складові</i>		
I. Товар за задумом	Модернізація система впорскування палива Можна виділити наступні вигоди використання: - забезпечення оптимізації роботи двигунів; - забезпечення меншої витрати палива; - зменшення викидів.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Економічні	Нм	Вр
	2. Призначення	Нм	Тх
	3. Надійність	М	Тл
	4. Технологічні	М	Тх
	5. Транспортабельності	М	Тх
	6. Безпеки	М	Тх
	Якість: Відповідає нормам ГОСТ 2.307-2011 «Виготовлення і складання виробів»		
Пакування: Картонна коробка із торгівельною маркою, назвою продукту і технічними характеристиками			
Марка: назва організації-розробника			
III. Товар із підкріпленням	Розповсюдження реклами		
	Акція, яка передбачає придбати кілька продуктів за зниженою ціною		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Захист інтелектуальної власності, патент на винахід.			

В таблиці створили трьох - рівневу модель товару, що включає задум товару та його вигоди, основі характеристики готового товару, спосіб його пакування та захисту від копіювання та плагіату. Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту.

Таблиця 20. Визначення меж встановлення ціни

<i>№ n/n</i>	<i>Рівень цін на товари замінники</i>	<i>Рівень цін на товари аналоги</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i>
1	20000 грн	18000 грн	Середній	18000 – 35000 грн

В таблиці проаналізовано ринкові ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За отриманими даними буде встановлена верхня та нижня межа ціни на продукт.

Таблиця 21. Формування системи збуту

<i>№ n/n</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
1	Звична купівля з деяким змінами, або модифікована закупівля. Вона передбачає придбання дещо змінених товарів (послуг), або зміну ціни на товар (послугу), або зміну кількості постачання).	Доставка продукту покупцю, його встановлення та налаштування.	Канал нульового рівня	Власна система збуту. Виробник безпосередньо продає товар клієнту і використовує три способи прямого продажу : - Торгівля через магазини, - Посилкова торгівля, - Торгівля в роздріб.

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар клієнту через торгівлю в магазинах, посилками чи в роздріб. Також за глибину каналу збуту було обрано канал нульового рівня, тому що компанія хоче мати тісні контакти із споживачами на обмеженому цільовому каналі.

Таблиця 22. Концепція маркетингових комунікацій

<i>№ n/n</i>	<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціонування</i>	<i>Завдання рекламного повідомлення</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
1	Перегляд інформаційний ресурсів із потрібним якісним товаром за доступною ціною.	Інтернет ресурси, виставки.	Послідовність у реалізації обраної позиції. Доступність та об'єктивність інформації про фірму та товар. Послідовність при прийнятті рішень.	Інформаційне завдання про новий товар, та формування знань про марку та виробника.	Висока якість і швидке налаштування системи.

Висока якість і швидке налаштування системи є головною концепцією продукту, за рахунок яких він є конкурентоспроможним на ринку.



Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар та співпрацює надалі з клієнтом.

Ціноутворення відбувається на основі аналізу товарів – аналогів і відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту з залученням експертів.

За ринкову поведінку буде прийнята стратегія зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру. Головне завдання компанії при цьому – це постійна турбота про підтримку і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.

## 6.6 Висновки

Ринкова комерціалізація проекту опирається на наявний попит, динаміку ринку та рентабельність роботи на ринку. Клієнти на даному ринку зазвичай займаються звичною купівлею з деякими змінами, яка передбачає придбання дещо змінених товарів, або зміну ціни на товар, саме на це і розрахований даний стартап, так як за рахунок розробленої програми відбудеться покращення характеристик інструменту, він матиме кращі властивості при роботі порівняно із товарами конкурентів.

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів і розробивши власну систему збуту є хороші перспективи впровадження даного продукту на ринок. Бар'єром входження на ринок є велика кількість товарів-аналогів, але порівняно із ними дана система впорскування палива забезпечує оптимізацію роботи двигунів, забезпечує зменшення витрати палива та забезпечує довготривалу роботу системи, отже дана система може стати конкурентоспроможною на ринку.

Впровадження на ринок розроблена на основі стратегії зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру.

Отже, подальша імплементація продукту є доцільною за рахунок сильних сторін продукту і наявного попиту на ринку.

					МД.ПІ71мн.20.000.00ПЗ	97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Перелік посилань

1. Коссов Е.Е., Шапран Е.Н., Фурман В.В. Совершенствование режимов работы силовых энергетических систем тепловозов. Луганск, Изд-во Восточнoукраинского национального университета им. В. Даля, 2006. 280 с
2. Press information — Режим доступа: <https://www.heinzmann.com/en/news/press-information>
3. Система LAVINIA E-PPN фірми HEINZMANN — Режим доступа: <https://www.heinzmann.com/de/download-motoren-turbinen/dokumente-software/Dieselmotor-Management/E-PPN-Einspritzsystem/LAVINIAE-PPN/Datenblatt>
4. Система LAVINIA E-PPN фірми HEINZMANN — Режим доступа: <https://www.heinzmann.com/de/download-motoren-turbinen/dokumente-software/Dieselmotor-Management/E-PPN-Einspritzsystem/LAVINAE-PPN/prospekt>
5. Судовые дизельные двигатели и дизель-редукторные агрегаты размерности ЧН16/17 — Режим доступа: <http://www.zvezda.spb.ru/index.php/produksiya/vidy-produktsii/969-sudovye-dizelnye-dvigateli-i-dizel-reduktornye-agre>
6. Принцип роботи дизельного двигуна, його переваги і недоліки — Режим доступа: <http://langeron.kiev.ua/remont/90-.-.html>
7. Система управління дизелем (Electronic Diesel Control, EDC) — Режим доступа: <http://www.newton-dieselcenter.com.ua/ua/biblioteka-klienta-ua/sovety-avtolyubitelyam-ua/entry/sovety-avtolyubitelyam/2014/12/05/sistema-upravlinnya-dizelem-electronic-diesel-control-edc.html>
8. Система живлення двигуна — Режим доступа: <http://bibliograph.com.ua/spravochnik-173-traktory-automobili/89.htm>
9. Автомобильные двигатели.: учебник / Под редакцией М.С. Ховаха, Москва: Издательство «Машиностроение», 1977
10. Тер-Мкртчян Г.Г. Анализ методик определения характеристики впрыскивания при испытаниях дизельной топливной аппаратуры / Г.Г. Тер-

					МД.ПІ71мн.20.000.00ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

Мкртичян, Л.В. Грехов, А.А. Денисов, Е.Е. Старков // Труды НАМИ : сб. науч. ст. – 2014. – Вып. № 259. – С. 162–173.

11. Bosch: *Системы управления дизельными двигателями*. Москва, Изд-во «За рулем», 2004. С. 10-14.

12. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. *Системы топливоподачи и управления дизелей*. Москва, Изд-во «Легион-Автодата», 2005. 344 с.

13. Bosch: *Системы управления дизельными двигателями*. Москва, Изд-во «За рулем», 2004. С. 206 — 210.

14. РЫЖОВ В. А. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФОРСИРОВАННЫХ СРЕДНЕОБОРОТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ СРЕДСТВАМИ ТОПЛИВОПОДАЧИ И ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ : дис. ... до д.т.н : 01.02.18 / В. А. РЫЖОВ. – Москва, 2018. – 60 – 65 с.

15. Solenoids — Режим доступа: <https://www.heinzmann.com/en/engine-and-turbine-management/solenoid>

16. Регулируемый блок питания Masteram MR3005D-3 — Режим доступа: <https://masteram.com.ua/ru/regulated-dc-power-supply-masteram-mr3005d-3/>

17. EFI Controllers DARDANOS — Режим доступа: <https://www.heinzmann.com/en/engine-and-turbine-management/speed-governor/efi-controller>

18. Kistler Charge Meter — Режим доступа: [https://www.process-controls.com/intertechnology/Kistler/ACC\\_Model\\_5015A.htm](https://www.process-controls.com/intertechnology/Kistler/ACC_Model_5015A.htm)

19. KEYSIGHT InfiniiVision 2000 X-Series Oscilloscopes — Режим доступа: <https://www.keysight.com/en/pcx-x205206/infiniivision-2000-x-series-oscilloscopes?nid=-32542.0&cc=UA&lc=en>

20. Chauvin Arnoux E3N Clamp AC/DC Режим доступа: <http://www.chauvin-arnoux.com/en/produit/e3n.html>

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МД.ПІІ71мн.20.000.00ПЗ
					99

21. Dardarnos, Basic Information for Electronically Controlles Injection Systems, Application Note, Heinzmann GmbH & Co. 2009 S. 148 ff.
22. Соколов Ю.Н. Пружины винтовые цилиндрические сжатия и растяжения из стали круглого сечения, Отраслевой стандарт ОСТ 37.001.199-77, Москва. С. 1-75.
23. Расчет обмоток электромагнитов — Режим доступа: <https://electrono.ru/elektrotexnicheskaya-apparatura/raschet-obmotok-elektromagnitov>
24. Щільність струму і сила струму. — Режим доступа: <http://um.co.ua/8/8-9/8-93846.html>
25. Обмотувальний простір і коефіцієнти заповнення. — Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/5009817/page:13/>
26. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с